



Prepared by  
pancock, allen & holt  
105 E. Union Boulevard, Suite 500  
Lakewood, Colorado 80228  
Phone (303) 185-8500  
Project No. 9008 B

圖片來源／使用者



項目名稱  
南部體系

圖 1-1  
FABRICA 矿區位置

發佈日期  
2009 年 3 月  
圖片名稱  
Fla.1-1.dwg

**Vale**計劃通過建設兩個為生產球團用粉礦提供鐵英岩礦石專門加工的新廠來提高**Fábrica**業務的產量。第一個年產量1,000萬噸的工廠將於2014年建成，第二個年產量1,000萬噸的工廠將於2016年建成。此儲量報告通過這些工廠評估計劃鐵英岩產量。正在開展一個關於**Fábrica**礦區鐵英岩項目的可行性研究，但未能用於此儲量評估。**Vale**已經為**Pincock**公司提供各種工程研究和報告及資本和運營成本的估計，以證明開採加工鐵英岩礦石的技術和經濟可行性。

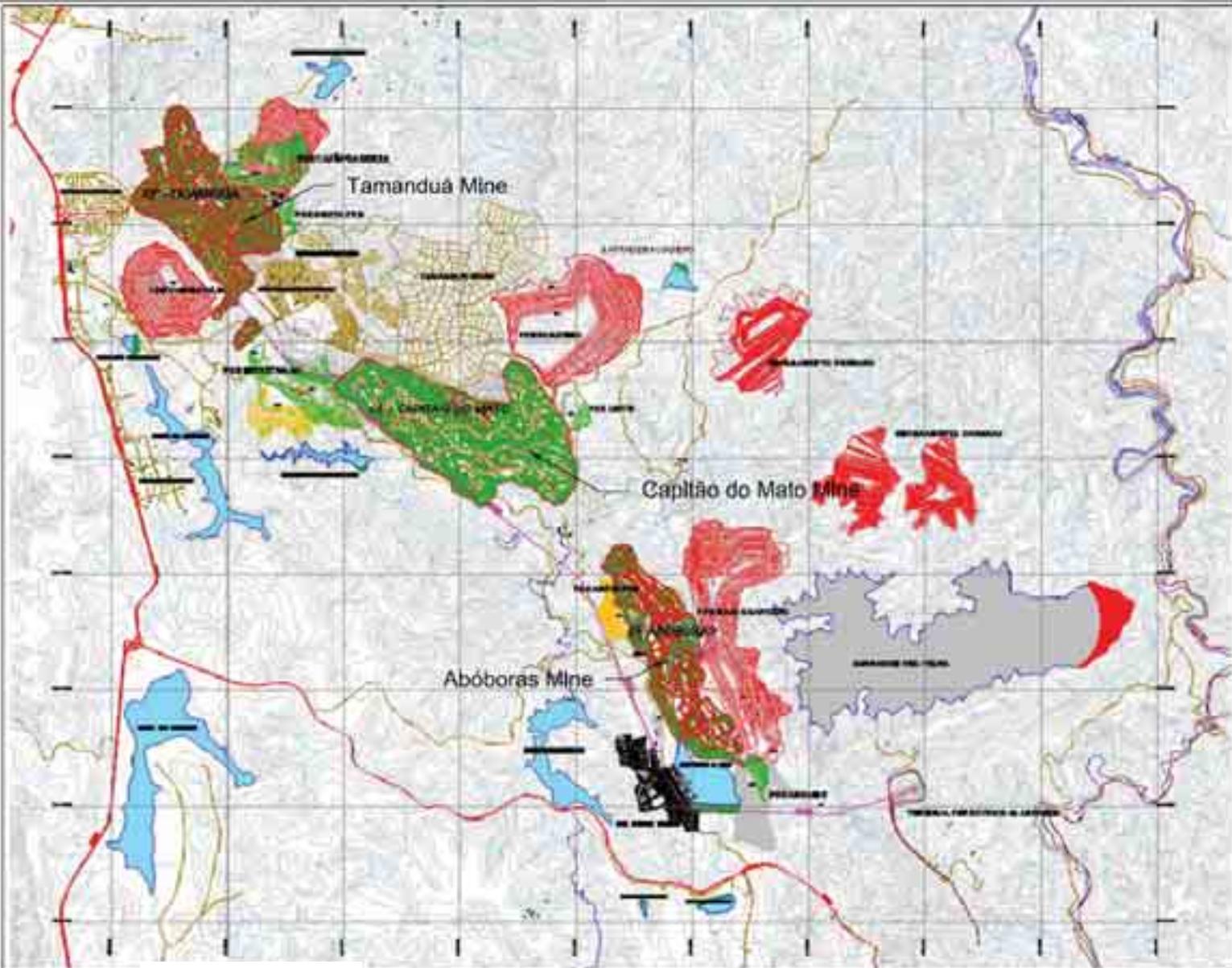
**Fábrica**礦區的礦產可運到位於**Espirito Santo**州**Vitoria**附近的**Tubarão**港或里約熱內盧州**Itaguaí**附近的**Sepetiba**港。鐵礦產通過鐵路運到三個港口中的一個。**Tubarão**港由**Ferro Vale**鐵路路線通達，而**Volta Redonda**和**Sepetiba／Guaiba**則由**Ferro MRS**鐵路路線通達。**Ferro Vale**乃**Vale**全資擁有，而**Vale**乃**Ferro MRS**的合作夥伴。鐵路運輸的成本由南部體系外的一個分支機構負責，同時確立了一項年度運輸費以退款給南部體系礦場。

### 1.1.2 Vargem Grande綜合項目

**Vargem Grande**採礦業務乃**Vale**的南部體系礦業的一部分，位於**Minas Gerais**州南中部的鐵四邊形地區(**Quadrilátero Ferrifero**)。該業務屬於**Nova Lima**直轄市範圍內。**Vargem Grande**採礦業務由三個露天採礦場**Capitão do Mato**、**Tamanduá**和**Abóboras**礦場組成，它們的礦石供給**Vargem Grande**選廠。三個礦場均距離**Belo Horizonte** 20至40千米不等。圖1-2顯示**Vargem Grande**業務的整體位置，圖1-3顯示三個礦場和選廠的航空攝影圖片。

2008年**Vargem Grande**業務的預計產量約為5,540萬噸含鐵量65%的原礦。目前的礦產有赤鐵礦和高品位鬆散鐵英岩礦。三個礦場採得的原礦礦石在各自礦場經過乾法破碎和篩分，再運輸到**Vargem Grande**選廠加工成塊礦、**hematitinha**礦（於當地銷售的產品）、燒結用粉礦及球團用粉礦。

**Vale**計劃通過建設為生產球團用粉礦提供鐵英岩礦石專門加工的新廠來提高**Vargem Grande**礦區的產量。首個年產量1,000萬噸的工廠將於2011年興建，第二個年產量1,000萬噸的工廠於2015年興建。新廠將建於已有選廠附近地區。當前儲量報告通過這些工廠評估計劃鐵英岩產量。正在開展一個關於**Vargem Grande**礦區鐵英岩項目的可行性研究，但未能用於本儲量報告。**Vale**已向**Pincock**公司提供包括**FEL 2**預可行性研究在內的各種工程研究和報告及資本和運營成本估計，以證明開採加工鐵英岩礦石的技術和經濟可行性。



Prepared by  
**pIncock, allen & holt**  
 108 S. Union Boulevard, Suite 900  
 Lakewood, Colorado 80228  
 Phone (303) 988-3365  
 Project No. 9509-B

圖片來源／使用者

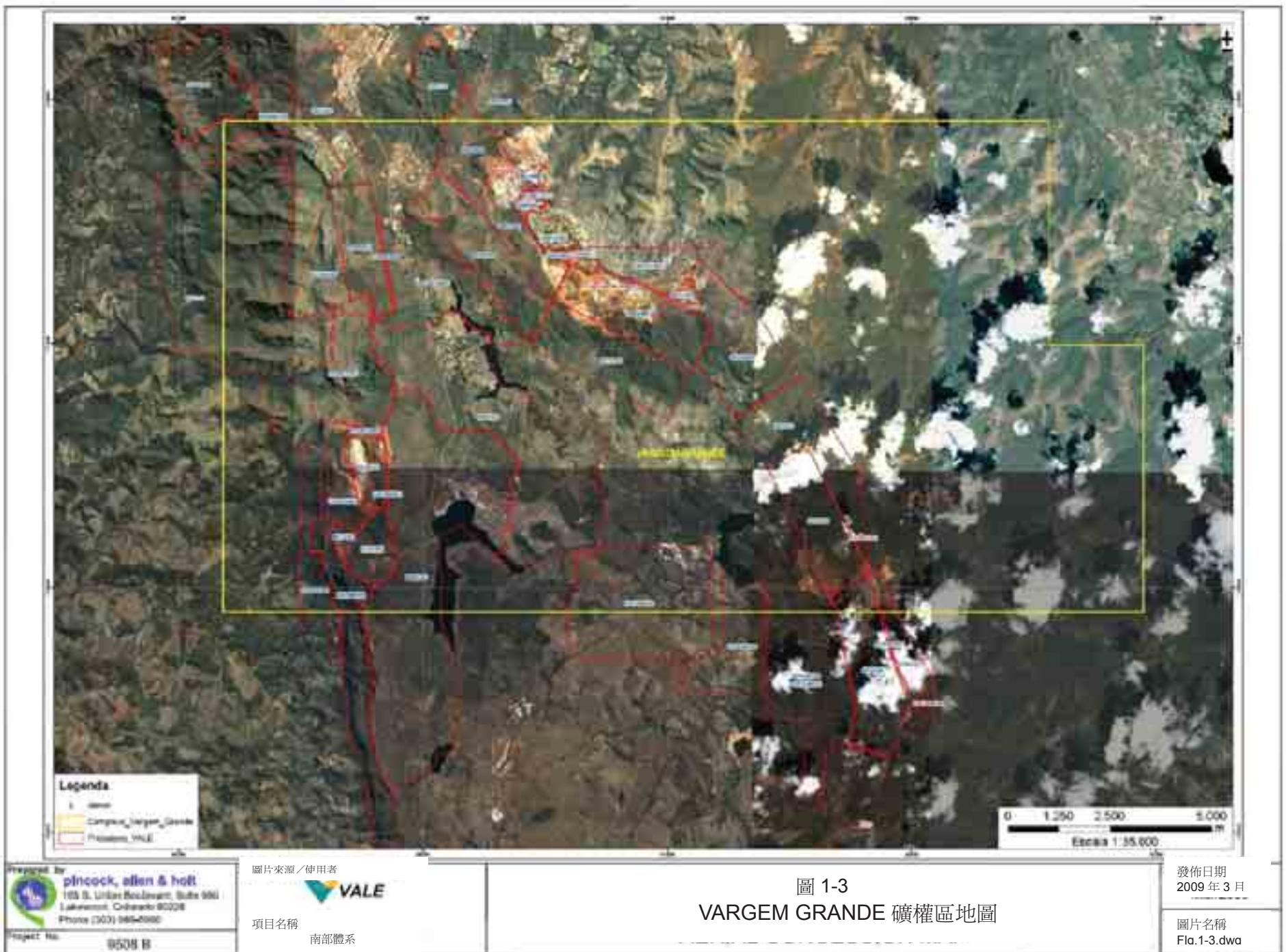


項目名稱  
南部體系

圖 1-2  
VARGEM GRANDE 綜合項目的礦區佈局

發佈日期  
2009 年 3 月

圖片名稱  
Fla.1-2.dwa



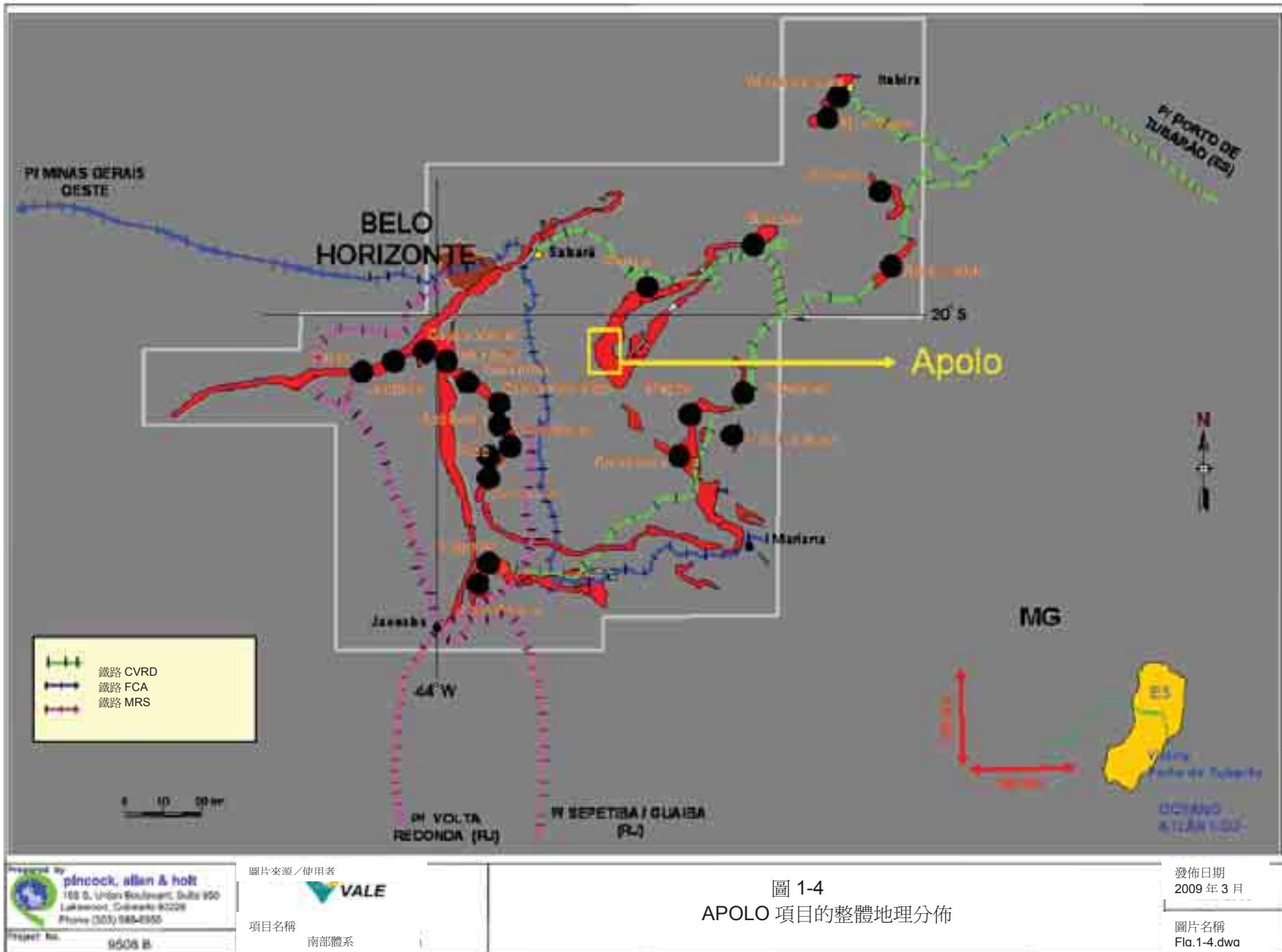
Vargem Grande業務的產品通過Ferro MRS鐵路線路運到位於里約熱內盧靠近Itaguaí的Guaíba Maritime終端綜合項目。Ferro Vale乃Vale全資擁有，而Vale是Ferro MRS的合作夥伴。鐵路運輸的成本由南部體系外的一個分支機構負責，同時確立了一項年度運輸費以退款給南部體系礦場。

### 1.1.3 Apolo項目

Apolo項目（原為Maquiné項目或Apolo-Maquiné項目）是一個位於Rio Acima、Raposos、Caeté和Santa Bárbara自治區的鐵四邊形地區中部的未開發礦產資源，距離Minas Gerais州首府Belo Horizonte約40千米。圖1-4顯示該項目的整體位置。Mato Grosso、Extramil及Apolo等項目分佈於三個採礦權區。Vale於2004年獲得Apolo採礦權，勘探大幅提高了此項目所界定的資源量。

Apolo項目是Vale據Vargem Grande和Fábrica礦區供生產球團用粉礦的鐵英岩礦擴張而計劃的新擴張項目之一，與其他赤鐵礦和高品位鐵英岩儲量大幅減少的礦場相比彰顯南部體系的產量。Apolo項目將發展為一個大規模的露天採礦場，預計於2013年投產。初始產量為高品位礦石（赤鐵礦和豐富的鬆散鐵英礦）的原礦（ROM）1,360萬噸／年，兩年後增加至3,300萬噸／年。首期選礦廠將從高品位礦生產出1,810萬噸燒結用粉礦及790萬噸球團用粉礦。在第四年，第二個選廠將投入生產，為約900萬噸／年的球團用粉礦生產處理約2,000萬噸／年的低品位鐵英岩。總產量將維持在5,200萬噸／年原礦直至第14年，屆時富礦減少且產量下降至3,300萬噸／年的低品位礦物。

完成Apolo項目需要超過21千米的鐵路延長線以及約24千米的新輸電線路。將興建容積為53公頃的蓄水池和464公頃的尾礦庫。最重要的是開發一個新礦山和建設選礦及附屬設施。礦區產品首先被運到Espírito Santo州Vitoria附近的Tubarão港。最後，礦石能從里約熱內盧州Itaguaí附近的Sepetiba港運出。Tubarão港由Ferro Vale鐵路線路通達，Volta Redonda和Sepetiba／Guaíba港由Ferro MRS鐵路線路通達。Ferro Vale乃Vale全資擁有，而Vale為Ferro MRS的合作夥伴。鐵路運輸的成本由南部體系外的一個分支機構負責，確立了一項年度運輸費以退款給南部體系礦場。



此儲量報告通過上述工廠評估計劃鐵英岩產量。正在開展Apolo項目的FEL 3（預可行性研究）研究，但尚未可用於本儲量報告。已經提供FEL 2（預可行性研究）的研究結果，但是作為FEL 2研究的結論，此項目之規模已擴大至包括第二期選廠建設以處理鐵英岩礦石。**Vale**已經為Pincock公司提供各種工程研究和報告及資本和運營成本估計，以證明Apolo項目的開採與加工之技術和經濟可行性。

#### 1.1.4 選址與氣候

**Vale**的南部體系礦場所在地區以中等陡峭地形為特徵，地貌高差沿山脈頂部自600米到1,500米不等。該地區原本覆蓋的熱帶森林曾被大量砍伐，現在種植大面積的桉樹人工林，同時維持放牧草地。巴西關注天然物種的復原，**Vale**通過完全使用當地可永久再生的物種已將此點結合到礦區復墾工作中。年平均氣溫約為18° C。6月至8月的平均較低溫度為8° C，1月至2月的平均較高溫度為24° C。年降雨量約為1,500毫米，此數值主要出現在10月至3月的雨季，6月至8月則相對乾燥。年蒸發量約為1,000毫米。

#### 1.2 過往審計

**Vale**於1997年開始對其礦區的呈報資源量進行審計，以支持向美國證券交易委員會(SEC)呈交的F-3表格，作為**Vale**股份在紐約證券交易所首次上市及公開發售的規定。自1997年的首次審計至完成1999年儲量的審計，外聘審計師是美國公司Mineral Resources Development, Inc. (MRDI)。MRDI於2000年5月被AMEC收購，隨後至2002年年底的審計是以AMEC的身份完成，但主要參與人員與之前MRDI所作工作相同。**Vale**於2003年和2004年變更了審計師。截至2003年年底所聲明的儲量審計是Golder Associates於2004年初完成的。

Pincock公司於2005年初完成截至2004年年底儲量的審計。此項工作包括冶金、選廠和環境管理的全面審閱，理由是該等領域於過往的審計中未被完全處理。冶金和環境評估的首要重點為確認並無出現會損害所聲明礦產儲量生產的重大問題。

Fábrica礦區在被**Vale**併購後曾由MRDI審計，其後由Pincock公司進行2004年底的儲量審計。Apolo項目（原稱Maquiné項目）與Vargem Grande綜合項目於2005年初首次由Pincock公司根據**Vale**的計劃進行審計。就Apolo項目而言，2004年底的審計中資源評估初次用於審閱，而該項目已從勘探推進到早期開發。Vargem Grande綜合項目的控股權過去由Minerações Brasileiras Reunidas (MBR)擁有，**Vale**於2003年通過買入Caemi公司（持有MBR公司85%股權）的60%股權而獲得Vargem Grande綜合項目的控股權。MBR公司的礦區（包括Vargem Grande綜合項目）於Pincock完成的2004年年底審計中被納入**Vale**的儲量審計計劃。2007年，**Vale**與MBR其他合作夥伴簽訂一項協議，以增持股份並獲得MBR的全部控制權，從而令其與**Vale**其他南部體系礦場業務整合以達致協同效益。

AMEC於2005年再次審計儲量。就2006年而言，並無進行第三方審計，但儲量已由Vale的技術人員調整。於2008年2月，Pincock完成對Vale截至2007年12月31日的已呈報儲量的儲量調整審閱。

Pincock描述截至2004年年底和2005年年底的審計報告及2008年儲量調整報告均視為是次審計的背景，而目前的審計被視為就審計和審議相關的鑽探、取樣及冶金測試、地質模型開發、品位變量詮釋、資源量確認和儲量計算、開採和加工成本、監管許可和認可而進行的專業審計。

### 1.3 工作範圍

是次審計完成的工作包括：

- 審閱2004年及2005年審計報告以及2007年儲量調整報告
- 由Pincock審計團隊全員完成對營運中礦場的實地考察，以及由現有項目團隊中3名成員之前於2005年3月考察過的Apolo未開發項目
- 審閱並獨立分析Vale員工提供的數據
- 編製關於儲量審閱發現的中期報告
- 編製關於審計發現的報告

於實地考察期間，Vale向Pincock呈述口頭和書面報告，以充分詳細地讓我們理解數據、地質模型、礦產加工和礦場設計，以確認所呈報的資源量和儲量是按照採礦行業的公認原則和慣例而估計的。

Pincock審閱儲量估計的輸入數據，以確認已適當地採取合適步驟，將資源量分類為儲量。這包括有關技術上、經濟上和法律上開採儲量能力的資料。我們的團隊包括一名評審地質和地質模型的地質學家、一名評審用於估計資源的分析方法的地質統計學家、一名評估採礦方法和成本以及為可開採儲量的界定提供支持的礦場規劃的礦場工程師，一名審閱選礦作業和成本的冶金學家，以及一名審閱環境管理及是否具備令人滿意的填海和復墾計劃的地質／環境工程師。

是次審計涵蓋下列範疇：

- 審計地質與資源量模型
  - 與熟悉有關項目的Vale的地質學家審閱勘探方法、抽樣及試金程序的目前情況，以及地質詮釋。
  - 審閱用於估計原來位置的資源量的統計和地質統計參數。
  - 審閱營運中礦場過往產量與預測模型資源量的調整情況，這涉及將採礦過程中基於坡面、溝槽及鑽洞抽樣與長期資源量模型進行調整。
- 審計儲量
  - 審閱直接經營成本、回收程度及其他用於決定最終礦井可開採儲量的經濟數據。
  - 審閱目前的礦場進度、規劃進度及最終礦井的配置。
  - 將預測的直接經營成本與目前在礦場呈報的成本進行比較。
  - 審閱各項採礦作業的冶金測試工程和選礦設施。
  - 審閱礦場地質技術，包括設計及監察礦井坡度、礦場廢料處置區、殘渣堵塞堤及沉積物或其他堵塞構築物。
  - 審閱地表及礦產權、礦場許可證、關閉礦場計劃以及環境管理的情況。

審計工作側重於採礦作業，不包括審閱鐵路系統或港口設施。鐵路運作和作為獨立運營業務的成本，和分配給南部體系的運送成本均以每噸物料的運送為基礎。港口設施包含在南部體系的成本架構中，包括最終產品的混合和物料處理及船隻裝卸設施。

## 1.4 工作計劃

Pincock項目小組開展的實地考察分為兩個階段。地質學家和地質統計學家的考察於2008年9月13日至10月5日期間進行。礦場工程師、選礦工程師和環境工程師的實地考察於2008年12月3日至12月9日期間進行。作為本次審計對象的其他Vale業務也於該等期間被考察。

進行項目審閱時，首先於Belo Horizonte舉行了會議，進行關於Vale業務和各特定礦場業務單位的整體審閱。之後對業務進行實地考察和對礦場和選廠設施進行視察。實地考察期間，獲得了綜合項目內的每個礦場業務的背景資料及具體數據。

Vale的職員以專業和及時的方式提供了一切所需的資料，Pincock認為已完成工作的範圍及所獲資料充分滿足本次審計範圍，並符合SEC指引第7號「由從事或將從事龐大採礦業務的發行人對產業的描述」和公認行業慣例。

## 1.5 人員

高級跨學科項目團隊由熟悉大型、高噸位露天採礦場和鐵礦選設施的專家組成。團隊成員包括主管Darrel Buffington (P.E.)、項目經理Pincock Allen & Holt – Brasil、採礦及地質服務副總裁Doug Jones、首席地質學家Leonel Lopez (C.P.G.)、首席地質統計學家Bipin Bhatt，以及首席冶金工程師Ron Harma。

## 1.6 審計的限制因素

PAH已獨立地審閱由Vale及其聯屬公司和顧問所提供的資料和數據。儘管PAH於本報告中所表達的意見依賴所提供數據的準確性，PAH並無理由相信有任何重大事實遭隱瞞。Vale的技術職員已公開及持續更新資料。PAH對所提供之資料的任何錯誤或遺漏不承擔任何責任及不會對因此得出的投資或其他財務決定或行動承擔任何責任後果。

除「礦產資源量」、「探明礦產資源量」、「控制礦產資源量」和「推斷礦產資源量」是按照Canadian National Instrument 43-101，根據CIM 標準所載指引的加拿大地質和採礦術詞外，本報告內有關物業的所有披露內容符合美國證券交易委員會行業指引第7 號「由從事或將從事龐大採礦業務的發行人對產業的描述」。

本報告所提及的“Canadian National Instrument 43-101”乃指加拿大證券管理局的國家礦物43-101標準—礦物資源項目信息披露標準，而「CIM 標準」乃指加拿大採礦、冶金和石油學會 (CIM)關於礦產資源量及礦產儲量的定義標準，由CIM委員會於2000年8月20日採納，並於2005年12月23日經加拿大礦物資源項目信息披露標準、Form 43-101F1及Companion Policy 43-101CP修訂。

礦場資源量估計本身屬於前瞻性聲明及可能作出改動。經Pincock於審議所獲提供的資料時已行使盡職審查，但未能控制的因素或未能預見的事件可能對礦產資源聲明造成重大的正面或負面影響。未能控制的因素或未能預見的事件包括與業務有關的風險，例如礦產行業的週期性質、行業的國際競爭力、價格基於不同需求層面的波動及國際或當地貨幣或政治政策的變動。任何一項或多項結合的因素可能對礦產資源聲明產生重大影響。

本報告使用詞彙「探明礦產資源量」和「控制礦產資源量」。雖然根據加拿大條例，該等詞彙是受到認可和允許的，但我們提醒美國投資者，美國證券交易委員會並不認可該等詞彙。美國投資者應留意，不得假設該等類別中任何部分或全部的礦產資源量將有機會被轉換為礦產儲量。

本報告使用詞彙「推斷礦產資源量」。我們提醒美國投資者，儘管加拿大條例認可和允許該詞彙，美國證券交易委員會並不認可。「推斷礦產資源量」本身具有許多不確定性，其經濟和法律可行性亦然。不得假設任何部分的推斷礦產資源量有機會上升至更高級範疇。根據加拿大的法例，推斷礦產資源量的評估未必構成可行性或其他經濟研究的基準。美國投資者應留意，不得假設存在任何部分或全部的推斷礦產資源，或其於經濟上或法律上可予開採。

本報告所表達的結果和觀點皆基於PAH的考察和Vale提供的技術數據，並且是取決於截至本報告日期屬最新、精確和完整的技術數據，以及並無資料已遭隱瞞而會影響對當中作出的結論的理解。倘PAH於本報告日期後得悉額外資料，PAH保留所有權利但無義務修改此報告及當中所載的結論。PAH對Vale處理此報告的行為概不承擔責任。

## 1.7 單位和縮寫

Pincock已以公制編製所有計量，如有例外情況亦已加以指明，尤其是當同時列出英文和公制單位的時候。貨幣大致基於2008年美元匯率，1美元兌1.8巴西雷亞爾。

除另有列明外，元即美元，而重量為1,000千克(2,204.62磅)的噸。本報告使用了以下縮寫：

縮寫	<u>單位或詞彙</u>
AA	原子吸收
BIF	條帶狀含鐵建造
DCF	折現現金流量
G&A	一般及行政
FEL	前期的裝料項目評估研究

ft	英尺
ft <sup>3</sup>	立方英尺
IDS	反比距離平方
ICP	感應耦合等離子體
In	英寸
ISO	國際標準組織
JORC	澳洲勘探結果、礦產資源量及可採儲量報告規則
k	千
kg	千克
km	千米
LI	安裝牌照
LMC	線性聯區化模型
LO	經營牌照
LP	初步牌照
LOI	強熱失量
M	百萬
Mt or mt	百萬噸
mm	毫米
m <sup>3</sup>	立方米
mtpy	百萬噸／年
NI 43-101	Canadian National Instrument 43-101
NPO	天然球團礦
NPV	淨現值
OCK	Ordinary Co-Kriging
OK	Ordinary Kriging
PAH	Pincock Allen & Holt
oz	盎司
ROM	(濕式) 原礦
T or t	噸 (1,000 千克或2,204.6磅)
TDA	總非聚簇平均
TDS	溶解固體總量
TSS	懸浮固體總量
Tpa or tpy	噸／年
tpd	噸／日
tph	噸／小時
UTM	通用橫軸墨卡托坐標系統
VGR	Vargem Grande Complex
yd <sup>3</sup>	立方碼
\$	美元
R\$	巴西雷亞爾

XRF 次級輻射  
% 重量百分比

常用化學符號

鋁	Al
鈣	Ca
氯	Cl
鈷	Co
銅	Cu
金	Au
鐵	Fe
鉛	Pb
鎂	Mg
錳	Mn
鉬	Mo
鎳	Ni
氧氣	O <sub>2</sub>
鉀	K
銀	Ag
硫	S
鈦	Ti

## 2.0 地質

Vale南部體系由位於Minas Gerais州中南部的Quadrilátero Ferrífero (鐵四邊形地區)的鐵礦床組成。該等礦床源於前寒武紀Minas Supergroup形成中沉積岩的含鐵建造。下面討論Fábrica礦區、Vargem Grande綜合項目及Apolo項目中共有的區域地質，勘探活動的展開是為開發用於資源量估計的信息。

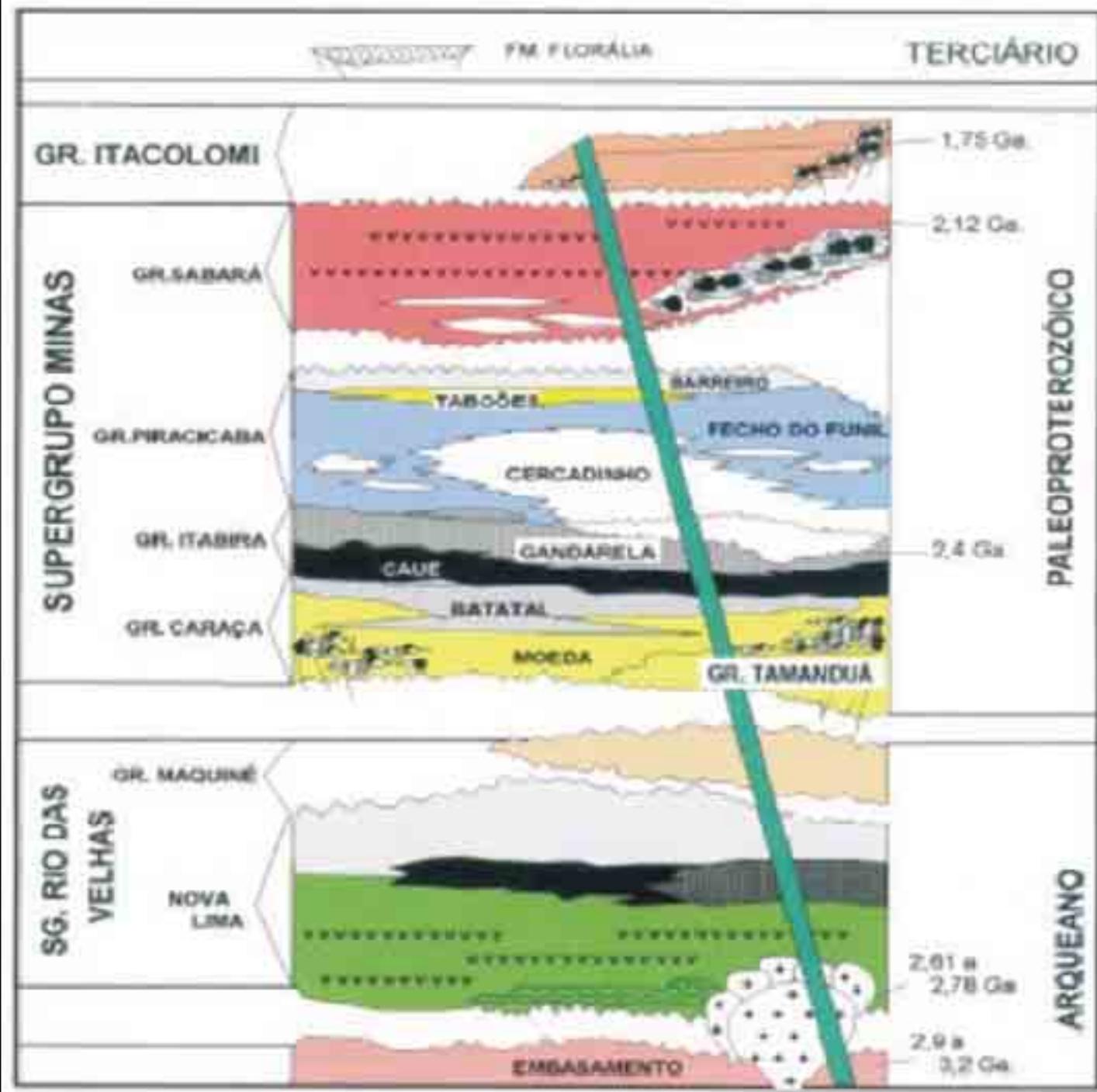
### 2.1 區域地質

鐵四邊形地區蘊含原生代時期的層狀鐵礦床，集中在Sao Francisco Craton的南部。Craton的地質特徵為前寒武紀花崗岩複合物及阿凱亞和原生代火山沉積次序。鐵礦床誕生於鐵英岩群的含鐵建造(Cauê Formation)，連同Caraça和Piracicaba地區岩群構成巴西地盾中的古元古代Minas Supergroup。

Minas Supergroup處於Rio das Velhas Supergroup的阿凱亞綠岩之上，構成阿凱亞時期變火山沉積岩的次序。其上層為Itacolomi Group的變質岩。鎂質岩脈入侵至地層。圖2-1呈現經簡化的鐵四邊形地區地層構造。Minas Supergroup經歷過漫長歷史的地質變化，包括上升、傾覆、入侵、擠壓和延展變形。該等地質事件為鐵礦床的形成創造了適宜的結構條件。

三大岩群組成了Minas Supergroup。位於最下層的Caraça Group主要是碎屑岩，由石英岩加夾層的千枚岩和礫岩組成。侵蝕的不一致標明了Caraça Group和其上方的Itabira Group的分界。

Itabira Group包括較下層的Cauê Itabirite（含有鐵四邊形地區主要的鐵礦床）、鐵英岩（含鐵創造表面的氧化物）夾雜含白雲岩的鐵英岩，以及少量千枚岩和白雲岩。它位於岩群形成的高層成員Gandarela Unit下方，由白雲岩和少量石灰岩、含白雲岩的鐵英岩、鐵英岩及含白雲岩的千枚岩組成。處於最高層的是Piracicaba Group，由石英岩、千枚岩和白雲岩等碎屑的沉積物組成。Supergroup的最後成員是Sabará Formation，它由綠泥片岩、千枚岩、雜礫岩、凝灰岩、礫岩、石英岩和稀少的鐵英岩組成。據此順序，礦床的年齡估計為26億年至21.2億年，已獲悉Itabira Group中一層白雲岩的年齡為24.2億年。



## 2.2 結構地質

鐵四邊形地區的地質構造以穹窿狀花崗岩體為特徵，帶有衝斷層和伴隨的等傾斜褶皺，而 Rio das Velhas 和 Minas Supergroups 被認為曾經被推擠而堆積到西部和西北部。

Minas Supergrou 經歷過漫長歷史的地質變化，包括上升、傾覆、被侵入、擠壓和膨脹變形，為沉積、移動和後面的變化過程創造了適宜的結構條件，使得礦化情況集中和產生鐵礦床。

## 2.3 礦化情況

鐵四邊形地區的主要鐵礦石類型：

**赤鐵礦：**在鐵礦床中赤鐵礦表現為高品位鐵礦石。含鐵量介乎65%至67%。為塊狀和葉片狀。根據其物理化學特性，赤鐵礦分為緻密赤鐵礦、易碎赤鐵礦和泥狀赤鐵礦。其形成與熱液過程或變質過程有關。

**鐵英岩：**鐵英岩一詞在巴西採用較多，用於描述一種含有鐵氧化物（赤鐵礦、磁鐵礦和假象赤鐵礦）、大量石英、及少量雲母和其他伴生礦物的變質型鐵建造。可能為葉片狀或緻密狀。Quadrilátero Ferrífero 地區的低品位鐵英岩含少量磁鐵礦，主要含石英赤鐵礦、石英赤鐵礦碳酸鹽以及赤鐵礦碳酸鹽。鐵四邊形地區大部分資源量和儲量為鐵英岩。根據Vale提供的資料，鐵英岩形成於變質之後的風化循環中硅滲濾和鐵氧化物富集過程。其中平均鐵含量約為45%，有時最高可達60%。根據其物理和化學性質，鐵英岩可分為緻密鐵英岩、易碎鐵英岩、泥狀鐵英岩以及赭石。

**鐵角礫岩：**鐵角礫岩礦石含有鐵建造風化所形成的未固結的碎屑礦物。其中鐵含量變化明顯，通常含磷礦物和鉍土含量較高。

**Rolados：**為次生岩屑礦化類型。由含鐵或含紅土岩基構成，含有不同礦物碎屑和碎塊，如赤鐵礦、鐵英岩、石英；鐵品位較高，磷和氧化鋁等有害組分含量較高。

## 2.4 勘探情況

Vale的勘探計劃分為兩部分，長期勘探計劃和短期勘探計劃。長期計劃主要針對新礦床勘探和資源開發，通過填圖和鑽孔建立地質模型。短期計劃通過在礦山詳細填圖和刻槽採樣，以及一些加密鑽探。下面介紹Vale南部體系所採用的鑽探、採樣和記錄的總體方法。

## 2.4.1 鑽探

Vale將金剛石岩芯鑽探作為資源量評估的主要信息來源。根據Vale和最近所收購三處礦權區的原所有者所進行的鑽探獲得的數據，確定了鐵四邊形地區中項目的地質模型。所有岩芯鑽探工作由獨立承包商完成。Vale有完善的鑽探工作流程，也包括處罰條款。

一般情況，南部體系的資源評估依據100米×100米勘探網度鑽探，在需要更詳細地質信息的地段採用50米×50米的勘探網度。鑽探深度主要取決於開採工作。鑽孔有垂直孔和傾斜孔。傾斜鑽孔中會頻繁進行井下測量，以測量偏移度。鑽探工作中，Vale讓獨立技術承包商檢驗岩芯獲取率，Vale估計岩芯獲取率為90%以上。承包商和Vale的技術人員獨立測量所獲得的岩芯長度和鑽探層段長度，計算岩芯獲取率。將岩芯獲取率數據輸入Vale數據庫中（SMQP和BDP），成為數據庫的一部分。Pincock公司觀察過不同礦山的多個岩芯箱，可以確信岩芯獲取率較高。

在鑽探現場，岩芯被放於木製岩芯箱中，在每個木箱的鋁牌上標出鑽孔編號和鑽探層段。岩芯被運往中央儲存站，在那裡進行記錄、採樣和儲存。

表2-1總結了本審計報告中涉及的三處項目所完成的鑽探情況。一般情況，鑽探分兩個階段，分別由Vale之前的礦權擁有者和Vale完成。這些數據在2002-2004年間獲得。

## 2.4.2 岩芯記錄

岩芯被送往中央儲存站，在那裡進行記錄並儲存。岩芯被儲存在架子上，按礦床區域和鑽孔編號分類。岩芯儲存直到鑽探層段被開採完畢。採用自然光源或泛光燈，在金屬架上以Vale標準流程記錄岩芯。Vale原有礦山的岩芯記錄工作採取TP-DEGL-02 “Descrição Geológica dos Testemunhos de Sondagem”標準流程，原MBR礦山採用PRO-2004 “Procedimento para Gerenciamento e Aquisição de Dados de Sondagem em Ocorrências de Minério de Ferro”標準流程。所有岩芯記錄工作採用表示地質記錄描述地質技術特徵的岩性代碼。表2-2列出了南部體系礦山岩芯記錄所採用的典型岩石代碼。在岩芯記錄過程中，確定了分析樣本所採自的層段。記錄信息記載於正式記錄表格，隨後輸入SMQP或BDP數據庫。

表 2-1

**Vale**

南部體系儲量審計

勘探數據匯總

	鑽孔編號	鑽探長度 (米)
<b>Fábrica礦區</b>		
João Pereira		
1974至2004	594	43,406
2004至2007	106	22,987
總計	700	66,393
Segredo		
1970至2004	432	29,366
2004至2007	126	26,324
總計	558	55,690
<b>Vargem Grande礦區</b>		
Abóboras		
1992至2004	40	2,925
2004至2006	135	20,189
總計	175	23,114
Tamanduá		
1990至2001	129	35,158
2001至2006	307	37,261
總計	436	72,419
Capitão do Mato		
1990前至2001	96	13,170
2001至2006	436	59,131
總計	532	72,301
<b>Apolo礦床</b>		
1970至1998	132	12,307
2001至2007	65	10,898
總計	197	23,205

表 2-2

**Vale**

南部體系儲量審計

Fábrica礦區岩芯採樣記錄所採用的岩性岩石代碼

硬赤鐵礦	HC
軟赤鐵礦	HF
泥狀赤鐵礦	HAR
含錳赤鐵礦	HMN
高品位軟鐵英岩	IFR
軟鐵英岩	IF
含錳鐵英岩	IMN
硬鐵英岩	IC
泥狀鐵英岩	IAR
含鈣土鐵英岩	IAL
白雲石化鐵英岩	IDO
鐵角礫岩	CG

紅土	LT
侵入岩	IN
片岩	XI
白雲岩	DOL
含鐵石英岩	QF

Pincock, Allen & Holt – Brasil  
9508-B 2009年8月14日

A-2.5

在鑽探現場將岩芯裝入木製岩芯箱時，在每個箱一端的鋁牌上標注鑽孔編號和鑽探層段。圖2-2為岩芯箱標牌的例子，該岩芯箱存儲於Vargem Grande礦區，為典型的Vale礦山。

Pincock公司檢查了岩芯儲存設施發現這些設施狀態良好。Pincock公司隨機抽取了幾個鑽孔，檢查並記錄岩芯，以檢驗數據庫。數據庫合格且狀況良好。

### 2.4.3 岩芯採樣

南部體系礦山的岩芯採樣由Vale和合同地質師，按照Vale指定的標準流程進行。根據工作流程（PRO）制定了鑽探岩芯採樣規範。其中一些準則包括：

- 採樣標準長度： 10米
- 最大長度： 15米
- 最小長度： 5米
- 採樣重量： 25公斤
- 應對所有含鐵岩層採樣
- 採樣層段需要考慮地質邊界

在將樣本運至實驗室之前，由合同地質師或Vale識別並記錄所有樣本。

Vale標準流程中確定了鑽探採樣的標準。Vale原有礦山所採用的標準流程為TP-DEGL-02 “Descrição Geológica dos Testemunhos de Sondagem”，原MBR礦山所採用的標準流程為PRO-2004 “Procedimento para Gerenciamento e Aquisição de Dados de Sondagem em Ocorrências de Minério de Ferro”。一般採樣標準包括：

- 標準長度 = 8 – 10米。 根據歷史平均採樣長度和Vale採用的礦山台階標準高度確定。
- 最小長度 = 4.0米。 根據30公斤最小代表質量和 $3 \text{ g/cm}^3$ 平均密度，計算並確定最小長度。
- 最大長度 = 12米。
- 需要對所有含鐵岩層（包括高品位和低品位）採樣。



Powered by  
pincock, allen & holt  
102 S. Union Boulevard, Suite 100  
Lakewood, Colorado 80228  
Phone (303) 988-6950  
Project No: 9506 85

圖片來源／使用者



項目名稱

南部體系

圖 2-2

VARGEM GRANDE 岩心儲存箱中的岩心樣本

發佈日期  
2009 年 3 月

圖片名稱  
Fla.2-2.dwa

例外：在無變化的硬鐵英岩（HIB）序列中，只需對接觸帶層段進行採樣。

- 觀測地質接觸面以避免貧化，並盡量使採樣層段接近標準長度（8米）。避免採樣層段同時含有緻密／堅硬含鐵岩層（赤鐵礦／鐵英岩）和軟含鐵岩層。
- 含鐵岩層：盡量將小於最小長度（4米）的夾層平均分入相鄰樣本中，或單獨採樣用於全樣化驗（原礦），而不進行全粒度化學分析。
- 岩芯採樣流程必須考慮地質／岩性接觸。

由現場地質師確定採樣層段，並決定化學分析和粒度成分分析（全岩成分和粒度成分）的實驗室工作程序。

除鑽探岩芯採樣，Vale還在在產礦山現場進行探槽採樣。在開採面進行兩種探槽採樣：規則探槽（CAP）和連續探槽（CAN）。兩種探槽都用反鏟挖掘機挖掘，將礦物挖出並堆在側面。CAN探槽通常為連續的多個探槽，以25米間隔與地質剖面平行。圖2-3描述了探槽採樣的例子。

圖 2-3：探槽採樣方法



從挖出礦物堆中取出約60公斤同類岩性礦物作為一份樣本。將樣本送往實驗室，進行標準粒度-化學分析。假設探槽樣本的獲取率是100%。CAP探槽的長度標準為3米，而CAN探槽的長度根據挖出礦物的岩性連續度會有所變化。

## 2.5 樣本分析

根據礦體的冶金學特性，Vale制定了樣本製備和分析流程，包括確定如塊礦（LO）、燒結用粉礦（SF）、球團用粉礦（PF）和尾礦（<0.15毫米）等銷售產品。經常對該流程進行修訂和更新，以納入新的分析技術、實驗室架構以及新的冶金設備。報告中詳細記錄了這些流程。圖2-4表示了Fábrica礦區所採用的工作流程。Apolo項目和Vargem Grande項目採樣採用了該通用流程，但粒度分析的特定篩子尺寸略有變化。

從Fábrica礦區採集的樣本送往實驗室。實驗室進行破碎、篩分和化驗，估計對應於塊礦、燒結用粉礦、球團用粉礦和尾礦等不同產品的粒度比例。鑽探樣本的處理包括下列步驟：

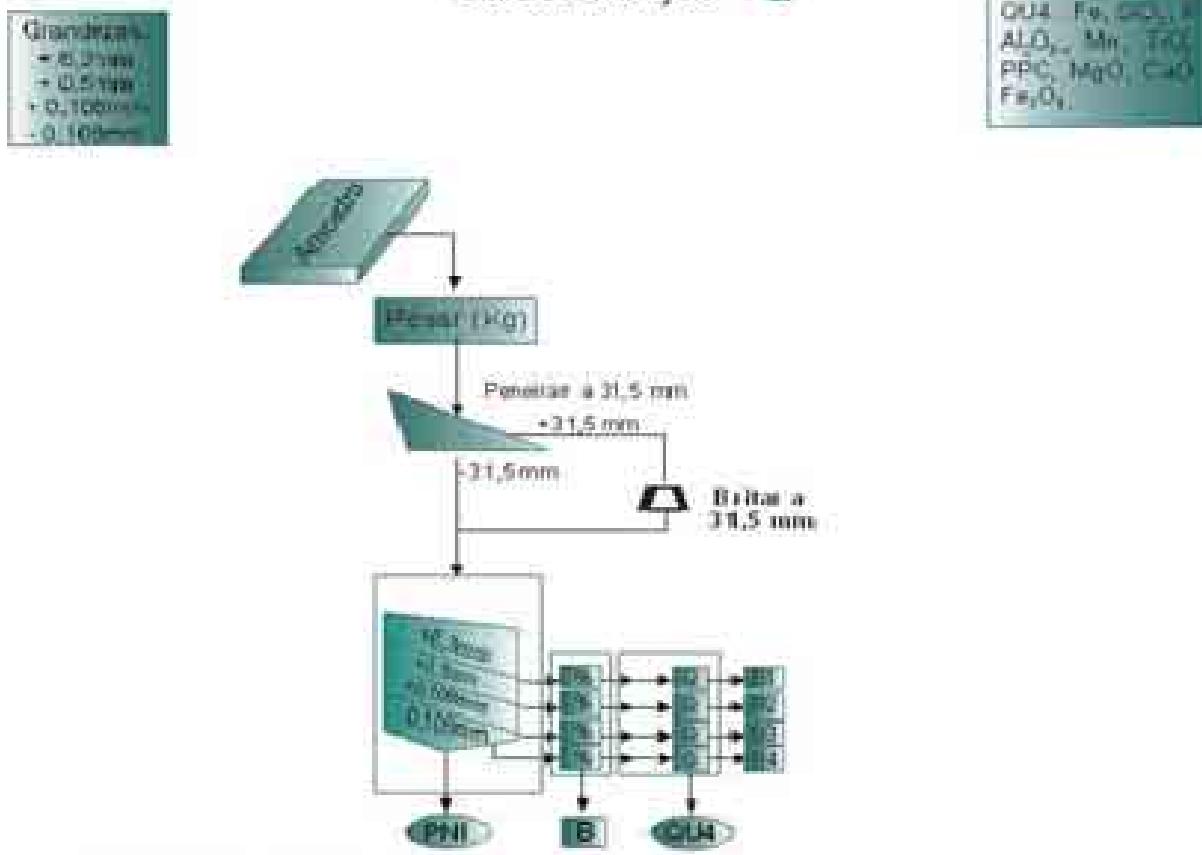
- 通過破碎將粒度降至50毫米以下。
- 將顆粒篩分為四個部分： $+6.3\text{ mm}$ ;  $-6.3\text{ mm}$   $+1.0\text{ mm}$ ;  $-1.0\text{ mm}$   $+0.15\text{ mm}$ ;  $-0.15\text{ mm}$ 。
- 對每個部分和全樣本進行化驗。

試驗部門（GEQPR）負責對所有樣本進行物理化學分析，並將這些實驗的信息提供給Vale數據庫（GIM-SMQP和Nautilus）系統。Vale制定了採樣所採用的所有工作流程。Pincock公司檢查了這些工作流程，並認為合格。

鑽探樣本的質量控制是將樣本的整體品位（原礦）和粒度部分的加權品位進行對比。識別並記錄含有樣本粉末的礦漿，進行儲存。

通過濕法分析、X射線熒光和ICP確定Fe, P, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Mn, LOI, CaO, MgO和TiO<sub>2</sub>的含量。

## Plano de Análise - FBF Caracterização - G



- Peneiramento a úmido
- Fe: análise via úmida
- $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , P, Mn,  $\text{TiO}_2$ , CaO, MgO: até 2004 análise via plasma e após esta data, análise via RX pastilha fundida
- $\text{Fe}_2\text{O}_3$  medida via Satmagan
- PPC: análise gravimétrica
- Global: Apresentar apenas o calculado

### LEGENDA

Analise Granulometrica  
Quim: Analise Quimica

圖 2-4  
樣本準備及分析流程圖

## 2.6 樣本QA／QC流程

Vale建立了嚴格的實驗室設備和實驗室流程的質量控制，以確保獲得最準確的分析結果。通過校準磅秤、篩子、計時器和溫度計，確保樣本製備的質量控制。分析流程的質量控制包括每批樣本之後，定期檢查並正確校準設備，並採用標準參考物質(CRM)或內部標準。採用氧化物化學平衡對分析結果進行複查。並分析整體品位和不同粒度部分的氧化物化學平衡結果，進行質量檢查。將副本樣本和表格送往商業實驗室進行檢查。通過統計分析進行比較。

圖2-5為原樣本和副本樣本之間關係的例子。整體上結果吻合較好。Pincock公司檢查了Vale實驗室人員提交的實驗室工作流程和實驗結果，並認可整體實驗室QA／QC流程。

## 2.7 密度確定

由Vale技術人員或承包商人員進行南部體系礦山的密度確定。所採用的方法包括：

- 校準墳沙坑 (FA)
- 固體岩石核在水中所排開的體積 (DV)，也稱為水浸法
- 鑽孔中取出的礦物重量與鑽孔體積之比 (BH)

表2-3總結了Vale的密度研究結果。Pincock公司檢查了工作流程和結果，確定合格。Pincock認為在今後應增加密度確定所採用樣本數量（特別是廢石），並確定每個礦床的密度質。密度信息也應更新。

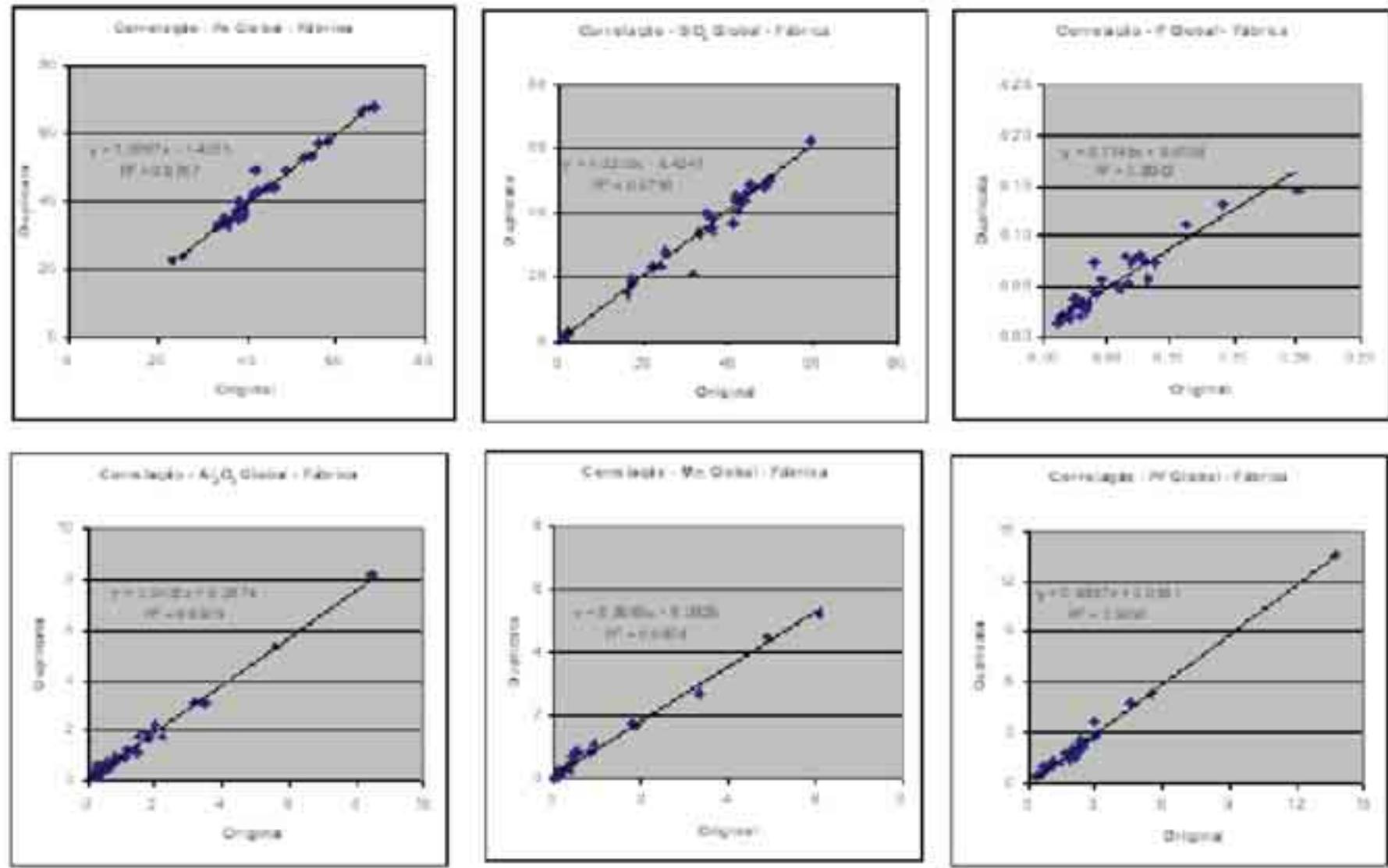


圖 2-5  
原樣本和副本之間的關係圖

表 2-3

Vale

南部體系儲量審計

不同岩性單位的密度測量數據

岩性代碼	樣本號	自然密度	乾密度	水分(%)	分析方法*
硬赤鐵礦 - HC	91	4,45	4,43	0,35	DV / BH
軟赤鐵礦 - HF	83	3,37	3,15	6,84	FA
粘土狀赤鐵礦 - HAR	21	2,91	2,71	7,06	FA
含錳赤鐵礦 - HMN	9	3,15	2,90	8,20	FA
高品位軟鐵英岩 - IFR	68	2,89	2,71	6,27	FA
軟鐵英岩 - IF	137	2,67	2,55	4,69	FA / BH
含錳鐵英岩 - IMN	13	2,85	2,52	11,81	FA
硬鐵英岩 - IC	35	3,14	3,13	0,43	DV / BH
泥質鐵英岩 - IAR	91	2,64	2,40	11,48	FA
含釩土鐵英岩 - IAL	6	2,73	2,44	11,00	FA
白雲石化鐵英岩 - IDO	9	2,32	2,21	5,37	FA / DV
鐵角礫岩 - CG	15	3,18	2,83	10,76	DV
紅土 - LT	12	2,09	1,82	12,88	FA
侵入岩 - IN	8	1,86	1,38	25,99	FA
片岩 - XI	60	1,98	1,55	21,48	FA
白雲岩 - DOL	15	2,74	2,73	0,10	DV
含鐵石英岩 - QF	22	2,38	2,25	6,41	FA

\*DV – 排出體積法或水浸法；FA – 校準填沙坑；BH – 鑽孔中取出的礦物重量與鑽孔體積之比

## **3.0 資源建模和地質統計學**

由Vale資源建模小組將南部體系和北部系統所採用的地質統計學分析和資源量建模方法標準化。下列章節中將介紹標準化的方法。南部體系中三個區域中每個特定區域資源量評估將在本報告的第八節中介紹。

### **3.1 建模方法**

由Vale資源建模小組制定的地質建模和資源評估流程，被認為能充分支持Vale所報告的資源量和儲量報表。

制定長期計劃的Vale資源評估小組主要位於貝洛奧里藏特。該小組負責建立地質模型、資源塊體模型、並根據Vale每個鐵礦的儲量評估數據制定長期礦山生產計劃。由於主要進行地質工作，每個鐵礦所採用的基本流程基本相同。評估工作一般根據整體分析Fe, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P, Mn和LOI（灼燒損失），以及各個粒度組分的數據，但是不同礦山的這些數據不同，取決於礦床特性。Vale的地質建模和資源評估方法包括國際礦業行業所認可的所有基本步驟，表3-1總結了Vargem Grande礦區和Apolo項目所採用的方法。Pincock公司在審計過程中對Vale的工作流程進行了評審。

### **3.2 數據組織**

資源評估工作的最初步驟包括將所有數據儲存進主數據庫計算機（PDB），然後將數據輸入VULCAN軟件進行資源建模。用Geovariance公司的ISATIS軟件進行地質統計工作。一些中間工作用GEMS軟件完成。在一些應用中還採用Datamine軟件。

### **3.3 岩石代碼**

通過野外岩芯記錄確定了數據庫中的岩性單元。在獲得粒度和化學分析結果之後，Vale採用驗證流程對岩性分類進行一些額外檢驗。舉個例子，如果在該流程中由鑽探岩芯確定的岩性為軟鐵英岩，但在驗證步驟（根據粒度和化學分析分類）識別為硬赤鐵礦，隨後將由負責的地質師酌情修改岩性，最終確定岩石代碼。表3-2中描述了卡拉加斯礦區N4W和N4E礦床中，採用化學和粒度標準修正岩性單元的典型例子。

表 3-1

Vale

南部體系儲量審計

Vale資源建模的一般方法

<b>數據組織</b>	主要數據同時存儲於Vale的BDP和SMQP數據庫系統 用Excel文件或Access文件集中原始數據 建模數據存儲與Vulcan文件和ISATIS文件
<b>數據管理</b>	鑽孔數據、採樣數據、測量數據、岩芯記錄表等 從台階獲得的探槽採樣數據，台階地圖等
<b>一致性檢驗</b>	對老鑽孔口位置進行重新測量 根據地形肉眼檢驗鑽孔位置 檢驗化驗和數字數據輸入 視覺檢驗數字數據輸入 實驗室自動化驗數據輸入（為避免錯誤可能性）
	對老鑽孔岩芯樣本進行重新化驗
	對整體值和粒度組分值進行基本單變量和多變量統計
	生成柱狀圖、概率圖、散點圖、箱線圖、接觸面分析等
	採用ISATIS軟件完成所有統計研究
<b>密度測量</b>	對於出露礦石採用校準填沙法 對於緻密礦石岩芯採用水浸法 挖井法 整箱岩芯法
	粒度分析 整體分析值與計算值的比較分析
	副本樣本的比較分析 實驗室之間互相檢驗和比較研究
	QA/QC檢驗 岩芯獲取率和粒度化學分析偏差和重新計算
<b>地質建模</b>	Vale採用屏幕建模方法或單元建模方法，或結合這兩種方法 生成剖面圖和平面圖 屏幕表現，以及採用平面多邊形、線框等生成實體模型
	還採用岩性單元的指示克里格和樣本數據 採用建模化學數據重新估計並識別岩性
	採用ISATIS進行建模 Vale採用線性同區域模型（LMC）處理化學變量
	不同元素或整體的相關圖 所有粒度組分的平均相關圖模型
	根據鑽孔相關圖獲得的塊金常數
<b>變差法</b>	採用地址邊界通過普通克里格法（OCK）進行塊體估算 用ISD和去集簇平均法填充周邊塊體和空塊體 卦限搜索橢球體（卦限最大為2）
	以母單元尺寸進行估算 以混合長度加權進行克里格計算步驟
	根據LMC變差確定搜索範圍
	Vale在Segredo礦床和Joao Pereira礦床採用腐蝕膨脹方法
	根據Ribeiro和Amorim（Vale的地質統計學者）所提出的風險指數分析
<b>資源分類</b>	<b>分析比較檢查包括：</b> 全局偏差 插入品位範圍與混合品位範圍 品均值和分佈 <b>近鄰法包括：</b> 全局偏差 不同台階的局部偏差 不同剖面的局部偏差 變化趨勢
	隨機選取剖面 觀察比較混合品位和克里格品位
<b>資源模型檢驗</b>	
<b>屏幕審閱</b>	

表3-2列出了分類標準，其中Fe是鐵含量，G1是實驗室中將岩本破碎至不大於50mm粒度時，粒度大於6.3mm礦物的比例。在對每種岩性單元採用氧化物化學平衡分析進行驗證，此外還考慮粒度化學分析和地質解釋，最終確定岩石代碼。

**表 3-2**

**Vale**

**南部體系儲量審計**

**驗證岩性代碼的典型標準**

岩性	最終代碼	採用標準
易碎赤鐵礦	HF	Fe ≥ 60% e G1 < 50%
緻密赤鐵礦	HC	Fe ≥ 60% e G1 ≥ 50%
含錳赤鐵礦	HMN	Fe ≥ 55% e Mn ≥ 2%
構造鐵角礫岩	CE	Fe ≥ 55%
化學鐵角礫岩	CQ	Fe < 55%
錳鐵	FM	Fe < 55% e Mn ≥ 2%

Vale認為需要進行這些檢驗證實現場岩性分類。表3-3總結了Vale目前建模所採用的含礦岩石代碼。

在審計過程中，Pincock發現結果數據中包含的多種岩石代碼只有少量礦物差異。由於大部分地質接觸面邊界清晰在地質統計估算中可看作是硬接觸，所以Vale認為需要對開採礦塊進行更詳細的評估。但是Pincock公司建議進一步簡化資源評估地質模型中採用的岩石代碼數量。

### 3.4 數據一致性檢驗

Vale採用下列四個步驟檢驗地質建模過程數據一致性：

1. 重新測量老鑽孔井口位置
2. 檢查鑽孔和地形的相對位置
3. 重新化驗鑽孔岩芯樣本
4. 視覺檢驗化驗和數字數據庫輸入

Pincock公司對化驗、數字數據庫和相對於地形的鑽孔位置進行了視覺檢驗，發現結果沒有錯誤。Vale所提供的數據情況良好。

表 3-3

Vale

南部體系儲量審計

地質分類採用的岩石代碼

岩石類型	代碼	Vargem Grande礦區			Fabrica礦區			Carajas礦區		
		Tamanduã	Aboboras	Capitão do Mato	Segredo	João Pereira	Apolo	N4E	N4W	Serra Sul
緻密赤鐵礦	HC	HC	HC	HC	HC	HC	HC	HC	HC	HC
易脆赤鐵礦	HF	HF	HF	HF	HF	HF	HF	HF	HF	HF
中等強度赤鐵礦	HM			HM						
脆性混雜赤鐵礦	HFC			HFC						
混雜赤鐵礦	HMC	HMC	HMC	HMC						
鐵泥赤鐵礦	HAR				HAR	HAR				
含矽赤鐵礦	HCS	HCS	HCS							
含錳赤鐵礦	HMN				HMN			HMN	HMN	HMN
脆性含矽鐵英岩	IFS	IFS	IFS	IFS						
混雜鐵英岩	IFC	IFC	IFC	IFC						
含錳鐵英岩	IMN	IMN	IMN		IMN	IMN				
緻密含矽鐵英岩	IC	IC	IC		IC	IC	IC			
緻密含矽鐵英岩	ICS			ICS						
中等強度含矽鐵英岩	IMS	IMS	IMS	IMS						
高品位軟鐵英岩	IFR				IFR	IFR				
白雲石化鐵英岩	IDO				IDO	IDO				
軟鐵英岩	IF				IF	IF	IF			
泥質鐵英岩	IGO						IGO			
鐵泥鐵英岩	IAR				IAR	IAR				
褚石	OC						OC			
化學鐵角礫岩	CQ							CQ	CQ	CQ
構造鐵角礫岩	CE							CE	CE	CE
鐵角礫岩	CG	CG	CG	CG	CG	CG	CG			
碎屑礦石	RO				RO	RO				
碧玉鐵質岩	JP							JP	JP	JP
高品位碧玉鐵質岩	JR									JR
錳鐵	FM							FM	FM	

### **3.5 基本統計**

Vale對Pincock公司所審計的所有礦區進行了深入的統計學研究。研究包括對岩性區域建模所採用的所有化學變量和相關粒度組分進行單變量統計。Vale總結了原始樣本（原數據）、組合樣本和塊體模型所進行的基本統計比較，供Pincock公司進行審閱。在資源量和儲量審計範圍內，Pincock公司對比較研究進行了極限檢驗，發現數據在合格極限範圍內。沒發現較大差異。

Vale還為原數據、組合樣本和塊體估算生成了許多柱狀圖和箱線圖。Pincock公司審查了這些數據，並重新為Segredo, Apollo和Serra Sul礦製作柱狀圖和箱線圖，發現這些數據合格。圖3-4包括Vale對Apollo礦床組合樣本進行的統計研究的一個例子。

圖3-1和3-2分別表示Vargem Grande礦區的Abóboras礦床Fe（赤鐵礦）變量柱狀圖和Carajás礦區N4W礦床的Fe\_gl（赤鐵礦）變量箱線圖的例子。

### **3.6 組合**

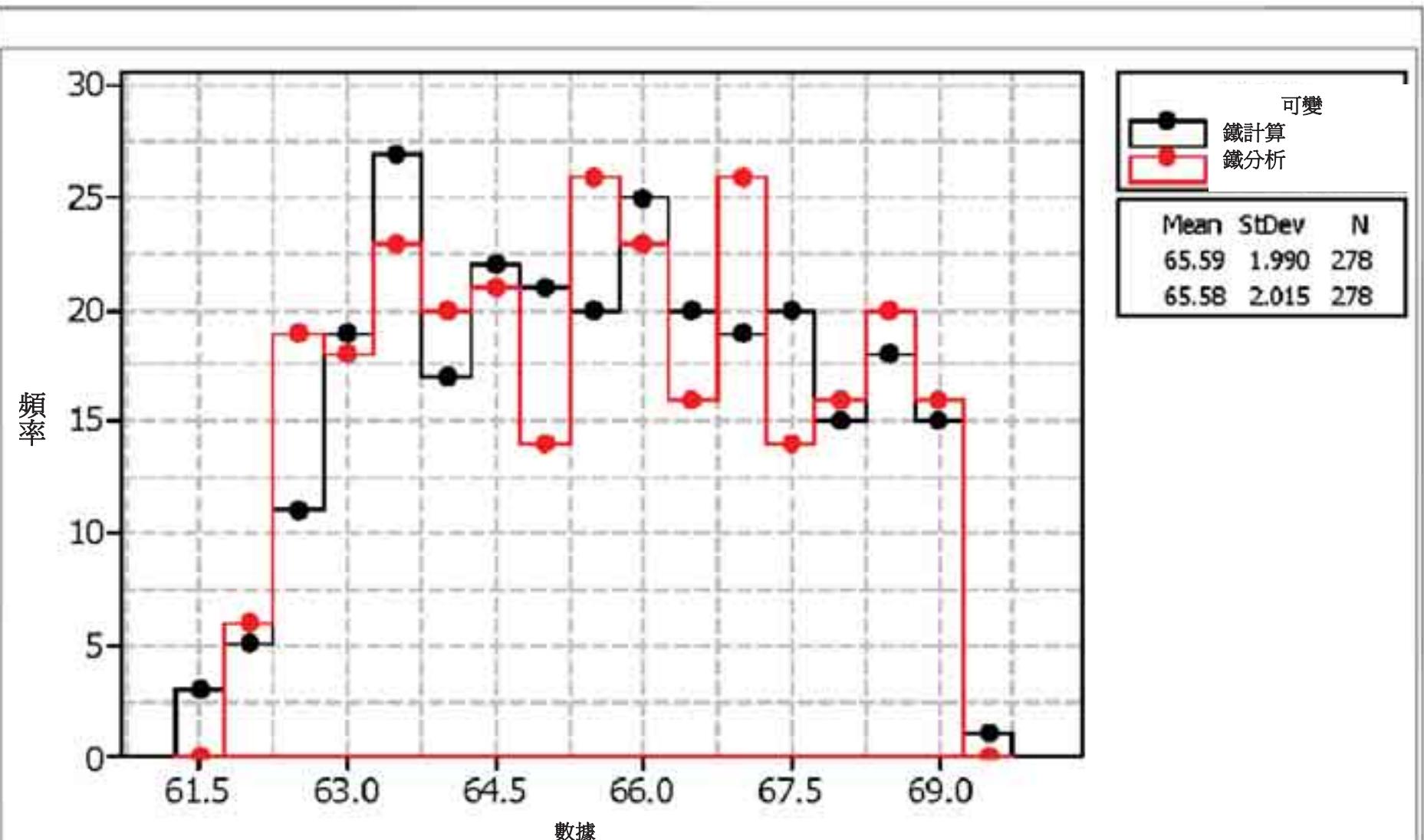
採用不同的鑽孔長度獲得鑽孔組合。根據每個礦床的鑽孔記錄信息，讓組合在地址邊界斷開。雖然分析的鑽孔樣本長度從0.5米到15米以上不等，但地質統計學上樣本長度符合實際開採台階高度和塊體模型垂直單位高度。

除了N4E和N4W礦床，審計工作所評審的礦床中，組合長度保持統一。在N4E和N4W礦床中，由於厚度變化和岩性單元接觸面的特性，Vale沒這樣做。Vale進行了統計分析，確定組合長度可用於品位估算工作（該情況中）。其研究表明，由於小於15米組合的樣本加權不足以影響結果，所以可採用3-15米的不同長度組合累計計算N4E和N4W礦床品位。Vale假設所有超過3米的組合具有相同的代表性。

在審計中，Pincock對許多組合進行了檢查，發現組合計算正確。

表 3-4  
Vale  
南部體系儲量審計  
Apolo礦床組合單變量統計

岩性	岩性代碼	變量	樣本數量	最小值	最大值	平均值	中間值	標準差	方差	變化係數	Q1	Q3
鐵角礫岩	CG	FEGL	158	42.576	67.438	58.201	58.830	5.033	25.336	0.086	54.943	62.084
緻密赤鐵礦	HC	FEGL	31	61.225	68.180	64.562	65.135	1.624	2.638	0.025	63.552	65.513
軟(脆性)赤鐵礦	HF	FEGL	631	59.493	68.054	63.598	63.732	1.915	3.666	0.030	62.033	65.049
緻密鐵英岩	IC	FEGL	254	27.434	53.951	39.836	39.712	4.160	17.308	0.104	37.319	42.506
脆性鐵英岩	IF	FEGL	339	12.913	60.235	48.181	48.565	7.673	58.882	0.159	42.364	54.827
泥質鐵英岩	IGO	FEGL	313	10.900	62.158	51.812	54.304	8.331	69.402	0.161	48.743	57.585
赭石	OC	FEGL	304	18.459	63.751	53.774	56.330	7.996	63.931	0.149	52.078	58.819
鐵角礫岩	CG	SIGL	158	0.580	10.475	2.430	1.717	2.028	4.111	0.834	1.261	2.561
緻密赤鐵礦	HC	SIGL	31	0.646	5.644	1.739	0.972	1.321	1.746	0.760	0.802	2.612
軟(脆性)赤鐵礦	HF	SIGL	631	0.460	12.042	2.849	2.188	2.002	4.006	0.703	1.418	3.664
緻密鐵英岩	IC	SIGL	254	16.292	55.390	39.281	39.960	5.940	35.279	0.151	36.630	42.681
脆性鐵英岩	IF	SIGL	339	1.239	78.117	26.422	26.571	11.703	136.955	0.443	16.508	35.057
泥質鐵英岩	IGO	SIGL	313	0.897	73.122	15.815	12.447	13.474	181.537	0.852	5.135	22.491
赭石	OC	SIGL	304	0.799	68.621	9.254	3.570	12.656	160.170	1.368	2.359	9.759
鐵角礫岩	CG	PGL	158	0.025	0.340	0.109	0.095	0.058	0.003	0.532	0.067	0.140
緻密赤鐵礦	HC	PGL	31	0.031	0.249	0.116	0.098	0.061	0.004	0.529	0.079	0.158
軟(脆性)赤鐵礦	HF	PGL	631	0.007	0.266	0.073	0.065	0.038	0.001	0.515	0.044	0.094
緻密鐵英岩	IC	PGL	254	0.010	0.339	0.052	0.049	0.023	0.001	0.437	0.036	0.063
脆性鐵英岩	IF	PGL	339	0.013	0.154	0.046	0.045	0.016	0.000	0.355	0.034	0.059
泥質鐵英岩	IGO	PGL	313	0.020	0.343	0.115	0.103	0.057	0.003	0.501	0.079	0.138
赭石	OC	PGL	304	0.009	0.357	0.103	0.090	0.064	0.004	0.617	0.060	0.120
鐵角礫岩	CG	ALGL	158	0.896	16.205	5.583	5.101	3.483	12.128	0.624	2.491	7.563
緻密赤鐵礦	HC	ALGL	31	0.242	3.332	1.415	1.050	0.934	0.872	0.660	0.709	2.002
軟(脆性)赤鐵礦	HF	ALGL	631	0.010	6.302	2.006	1.768	1.066	1.137	0.531	1.194	2.611
緻密鐵英岩	IC	ALGL	254	0.053	22.553	0.577	0.380	1.275	1.626	2.210	0.261	0.631
脆性鐵英岩	IF	ALGL	339	0.200	8.634	1.301	1.121	0.918	0.843	0.706	0.676	1.590
泥質鐵英岩	IGO	ALGL	313	0.294	7.681	2.213	1.654	1.648	2.716	0.745	1.019	3.012
赭石	OC	ALGL	304	0.315	14.896	2.893	2.378	2.152	4.631	0.744	1.514	3.704
鐵角礫岩	CG	MNGL	158	0.010	4.260	0.167	0.073	0.425	0.181	2.546	0.055	0.112
緻密赤鐵礦	HC	MNGL	31	0.019	2.973	0.351	0.161	0.550	0.303	1.568	0.100	0.368
軟(脆性)赤鐵礦	HF	MNGL	631	0.009	7.640	0.280	0.134	0.427	0.182	1.523	0.068	0.337
緻密鐵英岩	IC	MNGL	254	0.001	2.029	0.096	0.048	0.182	0.033	1.900	0.019	0.103
脆性鐵英岩	IF	MNGL	339	0.001	2.707	0.152	0.066	0.284	0.081	1.870	0.025	0.149
泥質鐵英岩	IGO	MNGL	313	0.011	11.733	0.515	0.157	1.152	1.326	2.236	0.081	0.505
赭石	OC	MNGL	304	0.003	3.540	0.303	0.172	0.413	0.171	1.362	0.088	0.368
鐵角礫岩	CG	PFGL	158	1.448	14.236	7.571	7.078	3.178	10.097	0.420	4.908	9.617
緻密赤鐵礦	HC	PFGL	31	1.381	6.409	3.774	4.006	1.137	1.292	0.301	2.907	4.471
軟(脆性)赤鐵礦	HF	PFGL	631	0.716	9.862	3.433	3.071	1.726	2.978	0.503	2.228	4.251
緻密鐵英岩	IC	PFGL	254	0.317	10.227	2.826	2.751	1.599	2.557	0.566	1.487	3.775
脆性鐵英岩	IF	PFGL	339	0.131	10.188	2.507	2.064	1.512	2.285	0.603	1.512	3.155
泥質鐵英岩	IGO	PFGL	313	1.348	13.556	6.358	5.895	2.804	7.861	0.441	4.158	8.311
赭石	OC	PFGL	304	3.092	16.062	9.784	9.804	2.368	5.608	0.242	8.113	11.695
鐵角礫岩	CG	G1	158	7.085	100.000	39.455	38.178	15.948	254.346	0.404	28.073	48.953
緻密赤鐵礦	HC	G1	31	51.323	100.000	81.801	83.543	12.701	161.303	0.155	69.512	90.330
軟(脆性)赤鐵礦	HF	G1	631	4.516	93.232	33.232	31.124	15.094	227.821	0.454	23.200	40.864
緻密鐵英岩	IC	G1	254	37.640	100.000	81.754	83.914	13.619	185.483	0.167	69.834	93.783
脆性鐵英岩	IF	G1	339	5.945	70.382	31.967	31.596	14.056	197.580	0.440	19.630	43.182
泥質鐵英岩	IGO	G1	313	6.377	94.419	40.909	39.293	17.438	304.072	0.426	27.643	50.150
赭石	OC	G1	304	1.169	93.003	31.422	28.669	16.036	257.147	0.510	21.722	37.869
鐵角礫岩	CG	G2	158	0.000	56.310	21.574	20.161	8.591	73.803	0.398	16.664	24.557
緻密赤鐵礦	HC	G2	31	0.000	23.102	9.385	7.987	6.567	43.127	0.700	4.720	13.493
軟(脆性)赤鐵礦	HF	G2	631	3.093	50.167	22.868	21.494	7.142	51.007	0.312	17.744	27.285
緻密鐵英岩	IC	G2	254	0.000	25.751	8.217	7.210	6.085	37.023	0.741	3.092	13.061
脆性鐵英岩	IF	G2	339	5.988	42.773	19.367	18.674	5.799	33.634	0.299	15.553	21.820
泥質鐵英岩	IGO	G2	313	3.602	46.299	22.993	21.734	8.439	71.210	0.367	17.413	28.100
赭石	OC	G2	304	3.825	65.818	27.953	28.516	11.557	133.575	0.413	17.579	37.339
鐵角礫岩	CG	G3	158	0.000	29.415	11.542						



Presented by  
phncock, allen & holt  
185 S. Union Boulevard, Suite 900  
Lakewood, Colorado 80228  
Phone (303) 988-0850  
Project No. 9508 B

圖片來源／使用者



項目名稱  
南部體系

圖 3-1  
VARGEM GRANDE 綜合項目 ABOBORAS 礦床  
鐵礦計算儲備及分析儲備柱狀圖

發佈日期  
2009 年 3 月  
圖片名稱  
Fla.3-1.dwa

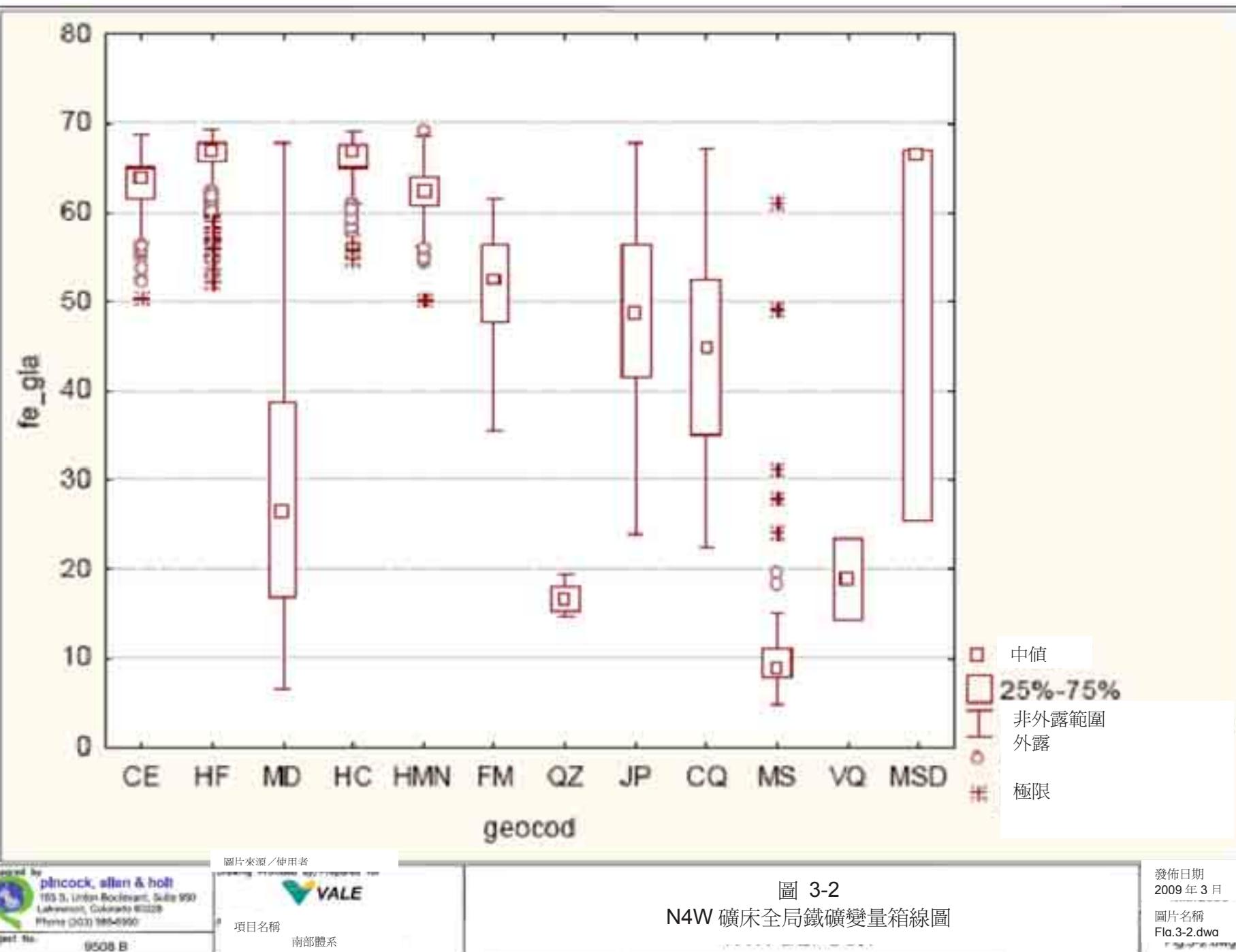


圖 3-2  
N4W 矿床全局鐵礦變量箱線圖

Prepared by  
pincock, allen & holt  
183 S. Union Boulevard, Suite 950  
Lakewood, Colorado 80228  
Phone (303) 985-6900  
Project No.  
9508 B

圖片來源／使用者  
CREATING FUTURE ENERGY RESOURCES FOR  
VALE  
項目名稱  
南部體系

發佈日期  
2009年3月  
圖片名稱  
Fla.3-2.dwg

### 3.7 地質建模

Vale採用兩個方法建立地質模型：

在屏幕上初步表現  
單元建模方法用於最終表現

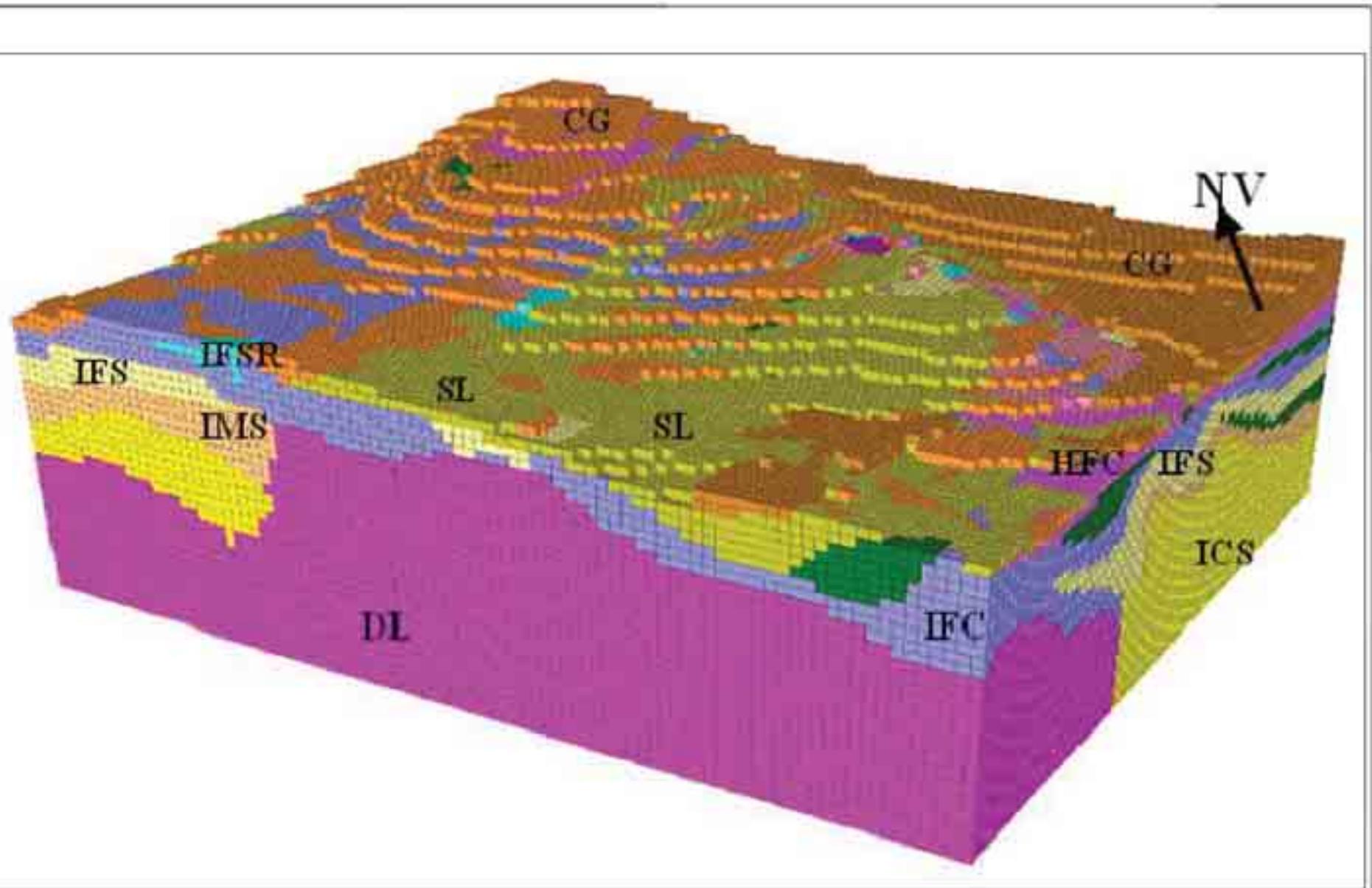
Vale人員採用的屏幕方法分為兩步，包括屏幕生成剖面和平面圖，隨後屏幕表現地質數據。地質模型主要根據剖面中幾個鑽孔地質接觸面的情況。隨後將剖面圖所表現的岩性接觸面轉化為平面圖。將地質情況表現出來之後，通過平面多邊形在屏幕上生成每個地質單元的實體，以確定其範圍。

修改過的新方法稱為單元建模法，廣泛用於對老模型進行更新。該方法中，在預先確定的網格上生成剖面，並修改了岩性代碼。剖面用組成模型單元的塊體填充。然後用線框生成三維實體。對廢石和礦石代碼都分別進行這一工作。然後採用樣本數據通過指示克里格法（IK）為塊體模型插入數值。指示為統一塊體的中點。通過在剖面和平面上平分多邊形獲得中點。採用岩性和採樣數據文件在所有剖面和平面上進行這一步驟。採用預先確定的岩性指示（結合岩性）進行變差（指示變差）。採用相同的搜索參數對每個指示進行克里格計算。橢球軸向可以變化也可不變化。總是在走向方向上進行主搜索，以符合條帶狀鐵建造的地質連續性。

單元模型結合了三種不同的模型：礦石平面模型，礦石剖面模型，以及廢石模型。圖3-3表現了Vargem Grande礦區的Capitão Do Mato礦床的岩性塊體模型的典型例子。

Pincock公司認為Vale所設計的單元建模方法比較複雜，對於此類礦床可能沒必要。Pincock公司檢查了不同礦床的幾個剖面。雖然Pincock公司基本同意其地質解釋，但一些剖面中較淺的鑽孔不能完全支持礦體連續的地質解釋。Pincock公司沒找到任何縱向剖面。我們認為建立縱向剖面有利於屏幕表現。

在地質統計學研究上，Vale將每個岩性單元作為一個單獨區域。這種劃分的理由是不同地質環境中各粒度組分具有不同的特徵。這種差異對礦石選礦特性有直接影響，包括總整體回收率以及最終產品的類型和品位。因此接觸面分析是建模過程的一個不可缺少的部分。這需要根據劃分距離將組合配對，並根據劃分距離標出平均值。然後用該圖根據岩性接觸面是硬接觸還是軟接觸確定組合選擇。



Prepared by  
pincock, allen & holt  
165 N. Union Boulevard, Suite 500  
Lakewood, Colorado 80228  
Phone (303) 985-6050  
Project No.  
9508 B

圖片來源／使用者



項目名稱

南部體系

圖 3-3  
Vargem Grande 矿區西南走向的 Capitão Do Mato 矿床的岩性塊體模型

發佈日期  
2009 年 3 月

圖片名稱  
Fla.3-3.dwg

變化明顯的接觸面為硬接觸，逐漸變化的接觸面為軟接觸。**Pincock**公司檢查了這些特徵，審閱了**Vale**的接觸面分析數據和圖表，發現軟接觸兩側的平均品位值沒有明顯差異。這種情況下不論距離多大，都可以採用接觸面兩側的組合對該區域進行克里格計算。**Pincock**公司發現硬接觸兩側的平均品位值有明顯差異。在這種情況下，岩性決定是否採用這些組合進行克里格測量。採用的組合較少，且取決於岩性。

圖3-4表現了Serra Sul礦床和Carajás礦區中兩種接觸面的例子。

**Pincock**公司斷定不同地質範圍兩側粒度組分有明顯變化，同意**Vale**將每個地質範圍當作空間範圍。

### 3.8 變差法

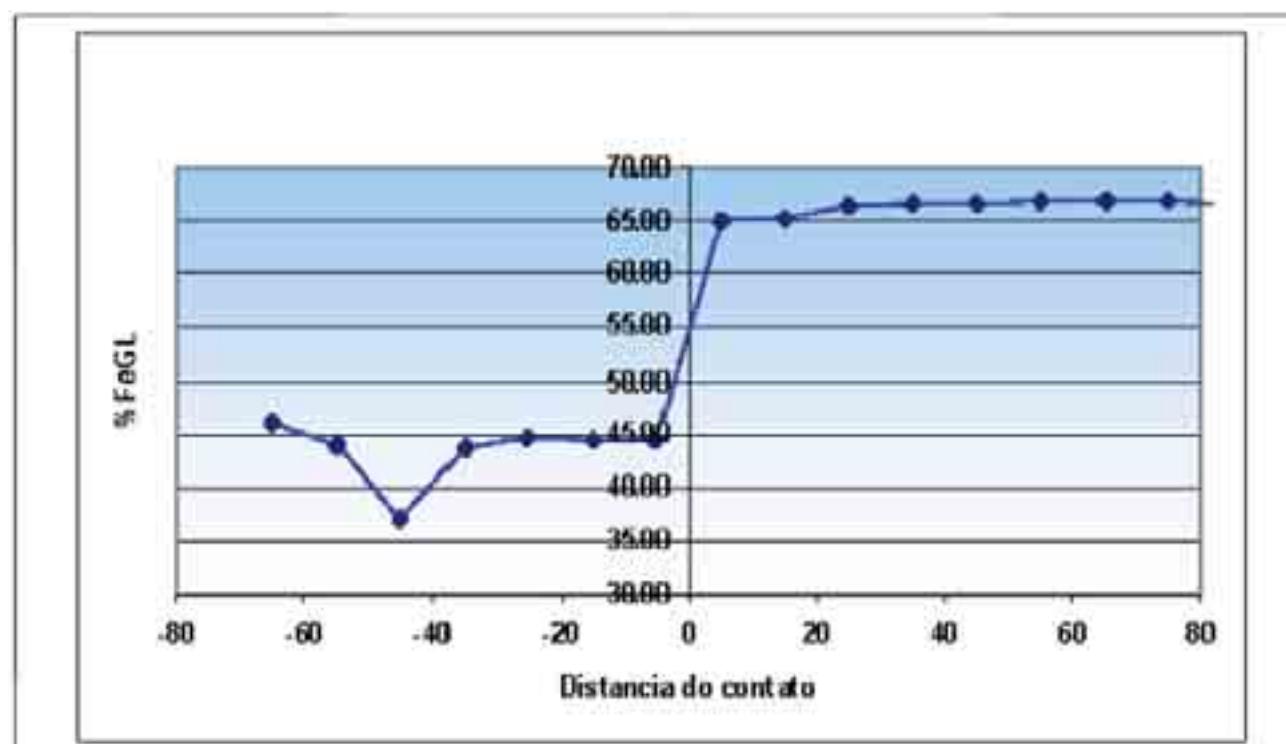
**Vale**人員對每個礦床進行了詳細深入的變差分析。**Vale**對每個粒度組分中所有化學變量（Fe, Al, Si, P, Mn和LOI）採用線性同區域模型（LMC）。LMC是保證協同克里格法獲得的估算值方差較小或為零的技術。為了確保這一點，每個基本結構的基底必須正確定義。**Pincock**認為這種情況下該方法更合理更合適，能有效對每個尺度上多變量數據的空間關係進行建模，還能獲得區域尺度的潛在空間關係。

LMC根據全局品位變差模型或剖面變差模型，採用Isatis<sup>®</sup>中的自動機制填充選項。LMC分兩個步驟進行：

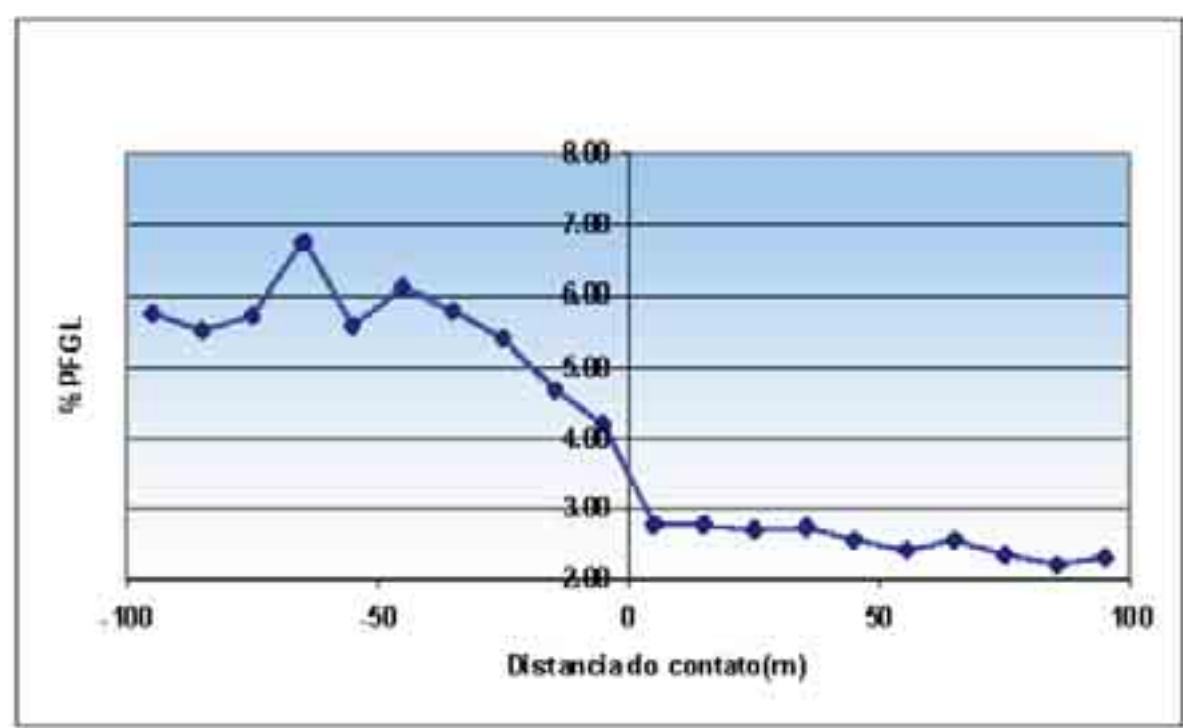
1. 首先將兩個方向的半變差建模，獲得所選基本結構的線性組合，及
2. 在正確定義基底的限制下，將相同的基本結構填充進剖面半變差。

以不同粒度組分兩個或四個化學變量計算半變差或剖面變差，確定每個變量之間的關係。實驗計算還包括在鑽孔中以及多個水平方向上生成的半變差或剖面變差。

圖3-5表現了Carajás礦區N4E北礦床和N4E南礦床的典型實驗變差和建模變差，能代表南部體系礦床所採用的變差流程。



硬接觸面



軟接觸面

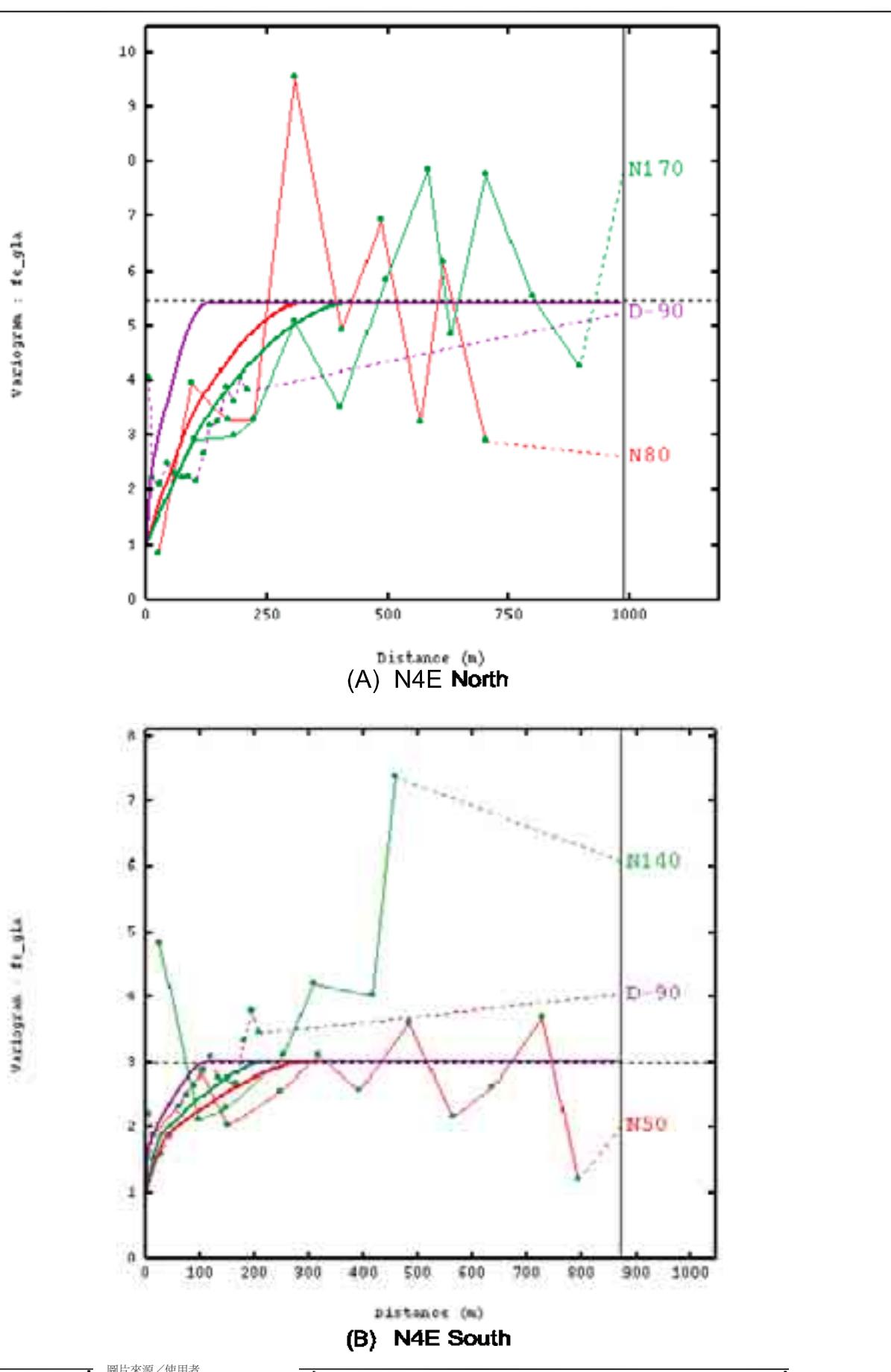


圖 3-5  
HEMATITE 全局品位半實驗變差和半建模變差

**Pincock**公司觀察了**Vale**許多變差模型中各向異性情況（品位變化），認為各向異性與地下地質情況有直接關係（淺層富集）。**Pincock**公司採用幾個變量的試驗數據對一些三維模型服從度的對比圖進行了檢驗。兩個模型整體都表現出很好的完整性。

### 3.9 品位累積

在樣本組合之前，**Vale**採用稱為「特殊變量分析」的品位累積步驟進行品位估算。該步驟需要粒度組分比例（破碎篩分至小於31mm粒度的總樣本百分比）和每個粒度組分的累積化驗值。通過將特定粒度組分百分比乘以相同粒度組分的化驗值，計算得出特定粒度組分的品位累積化驗值。比如， $AFeG1 = G1$  (百分比 +6.3mm 粒度組分)  $\times$  FeG1 (鐵品位 +6.3mm 粒度分數)。進行該過程的目的是確保在塊體估算中對所有組合恰當處理（加權）。由於對每個粒度組分進行的單獨化驗只能表現該粒度組分的值，所以對於所有鐵礦該程序都是必需的。因此需要採用相應的粒度組分對樣本進行加權。

除了上述步驟以外，**Vale**還採用移動單元去集簇法，以確定整體加權平均品位。該方法中，給每個樣本指定一個權重值，與某個預先確定的單元（或塊體）中所含樣本數量呈反比。該步驟將減弱優先樣本集簇的影響。

### 3.10 品位估算和克里格計算設計

**Vale**進行品位估算的方法根據下列步驟：

1. 採用所有地質範圍通過普通協同克里格法估算塊體。對於數據較少的區域，特別是塊體模型區域外圍，採用IDS（距離寡次反比）法和／或TDA（總體去集簇平均）法估算塊體值。一些塊體品位估計值需要修正。採用線性回歸分析實現這一點。通過標準數學方法進行化學計算檢驗。
2. 生成卦限搜索橢球（卦限最大為2）
3. 以母單元尺寸進行估算
4. 進行克里格計算

採用橢球體進行樣本搜索，方向根據主變差方向。沿主軸線、半主軸線和副軸（垂直軸）進行一遍搜索或多遍搜索。搜索範圍根據每個礦床的建模變差（相關圖）或剖面變差（由LMC決定）決定。

Vale所確定的克里格參數恰當合理。

### 3.11 資源模型驗證

Vale所進行的資源建模驗證通過下列步驟進行：

#### 1. 統計比較檢驗:

全局偏差  
品位插入變化範圍與組合變化範圍  
平均值和分佈

#### 2. 近鄰模型:

全局偏差  
台階間局部偏差  
剖面間局部偏差  
變化趨勢

#### 3. 屏幕檢查

隨機選取一些剖面  
視覺比較組合和克里格計算品位

Vale提供了一系列用於所有審計礦床的塊體模型剖面和克里格估算的台階圖。Pincock公司對這些台階圖和剖面圖進行了視覺檢查。組合的近鄰模型統計與根據不同範圍分類的克里格模型估計值進行比較。塊體模型平均值總體上與估計值吻合較好。Pincock公司還觀察到全局平均值非常接近，且估算步驟很好地再現了局部品位變化。Pincock確信大部分元素的體積和品位與目標品位-體積關係相吻合。Pincock還注意到某些區域中雜質和全局鐵含量存在一些估計過高或過低的情況。Pincock公司認為這種不吻合乃由於這些區域中鑽孔網度過大、缺少鑽孔或鑽孔深度過淺。

### 3.12 資源分類

為了確定「測定」、「指示」和「推斷」資源類型，滿足儲量分類的需要，Vale採用了Vale地質統計學者提出的名為「風險分析」的步驟。該步驟能滿足DNPM於2002年9月提出的稱為「巴西資源量和儲量分類標準」的要求。

**Vale**制定了「風險指數」(IR (u))以確定資源類別並減少克里格計算中導致的錯誤（例如樣本間距、地質複雜性、不規律品位擾動等）。Pincock公司認為用於資源分類的風險指數是合適的，但是會使最終確定的測定資源量和推斷資源量略偏保守。

用於化學變量的經典地質統計學技術沒有考慮礦體的幾何形態。在這種情況下，根據克里格方差得出的資源分類標準未考慮鐵礦床中任何地質和地球化學變化的風險。為了消除估算過程中的所有風險，**Vale**根據樣本分佈和礦體幾何特性，採用克里格法確定風險指數。

根據建立的方法，用值(1)表示礦體，用值(0)表示廢石。產生方向性指示變量圖並進行指示克里格計算。根據定義，假設值只會為0或1，每個塊體的指示克里格計算結果為樣本的加權平均數。所以除了一些負數克里格加權，1是最大可能結果，0是最小可能結果。克里格值為1的塊體具有較高的含礦可能性，為0的礦體含廢石的可能性較高。0和1之間的中等值表明存在礦石和廢石的可能性都有。如果克里格結果表示可能性最大的岩性，克里格方差將表示這種假設的置信度。所以在最終分析中需要考慮這兩個參數。這種情況下，每個塊體都將歸入某一個特定類別，相應的值為「風險指數」。表3-5列出了不同資源置信度類別的風險指數。

下一步為在笛卡爾二維坐標系中描出經克里格計算的值和克里格方差／基底。

**表3-5**  
**Vale**  
**Fábrica礦區儲量審計**  
**Vale**資源量分類

資源量分類	風險指數範圍 (RI)
測定	< 0.6
指示	0.6 - 0.9
推斷	> 0.9

最終風險會與距數據源距離成比例，可以用下列表達式求得風險指數：

$$IR(u) = \sqrt{[1 - I_K(u)]^2 + [\sigma_{IK}^2(u)]^2}$$

其中，

$I_K(u)$  = 為指示克里格估計值，對應於位於u位置的塊體；

$\sigma_{IK}^2(u)$  = 為指示克里格方差，對應於位於u位置的塊體。

圖3-6表示了RI=0.6和RI=0.9的曲線，確定了測定、指示和推斷資源類型之間的邊界。Pincock公司認為Vale指定的該分類標準合格且符合NI-43-101的要求。

在Fábrica礦區Segredo和João Pereira礦床對經克里格計算的塊體分類時（以編寫報告），Vale仍在使用一套更老的稱為「腐蝕膨脹」的方法。在Pincock公司在2005年5月對Vale南部體系進行的資源量儲量審計報告中，詳細介紹了這種方法。Pincock公司審查了Vale新舊兩種方法，認為這種資源分類方法合格。

### 3.13 資源量報表

表3-6列出了Fábrica和Vargem Grande礦區和Apolo項目的總估算資源量。資源量指估計的礦石量，未涉及當前設計的露天開採境界，且為2007年12月底的數據。所有噸位數據以濕噸計。

表 3-6

Vale

南部體系礦區儲量審計

截至2007年12月31日，估計的測定資源量和指示資源量 (3) (6) (7)

礦區 <sup>(1)</sup>	噸位 x1000 <sup>(2)(3)</sup> 鐵礦石	品位 Fe (%)	噸位 x1000 <sup>(2)(3)</sup> 鐵英岩	品位 Fe (%)
南部體系	赤鐵礦		鐵英岩	
Fábrica礦區				
João Pereira	44,901	64.32	944,316	38.78
Segredo	123,467	65.64	645,254	40.30
Vargem Grande礦區				
Abóboras	61,064	64.54	544,254	43.49
Capitão Do Mato	306,386	65.54	713,701	46.63
Tamanduá	363,353	66.23	588,871	47.30
Minas Centrais礦區				
Apolo (Maquiné)	284,568	63.47	625,718	49.10
南部體系小計	1,183,739	65.17	4,062,114	43.86

註：

1) 除非有特別說明，Vale在以上礦山所佔股權為100%。

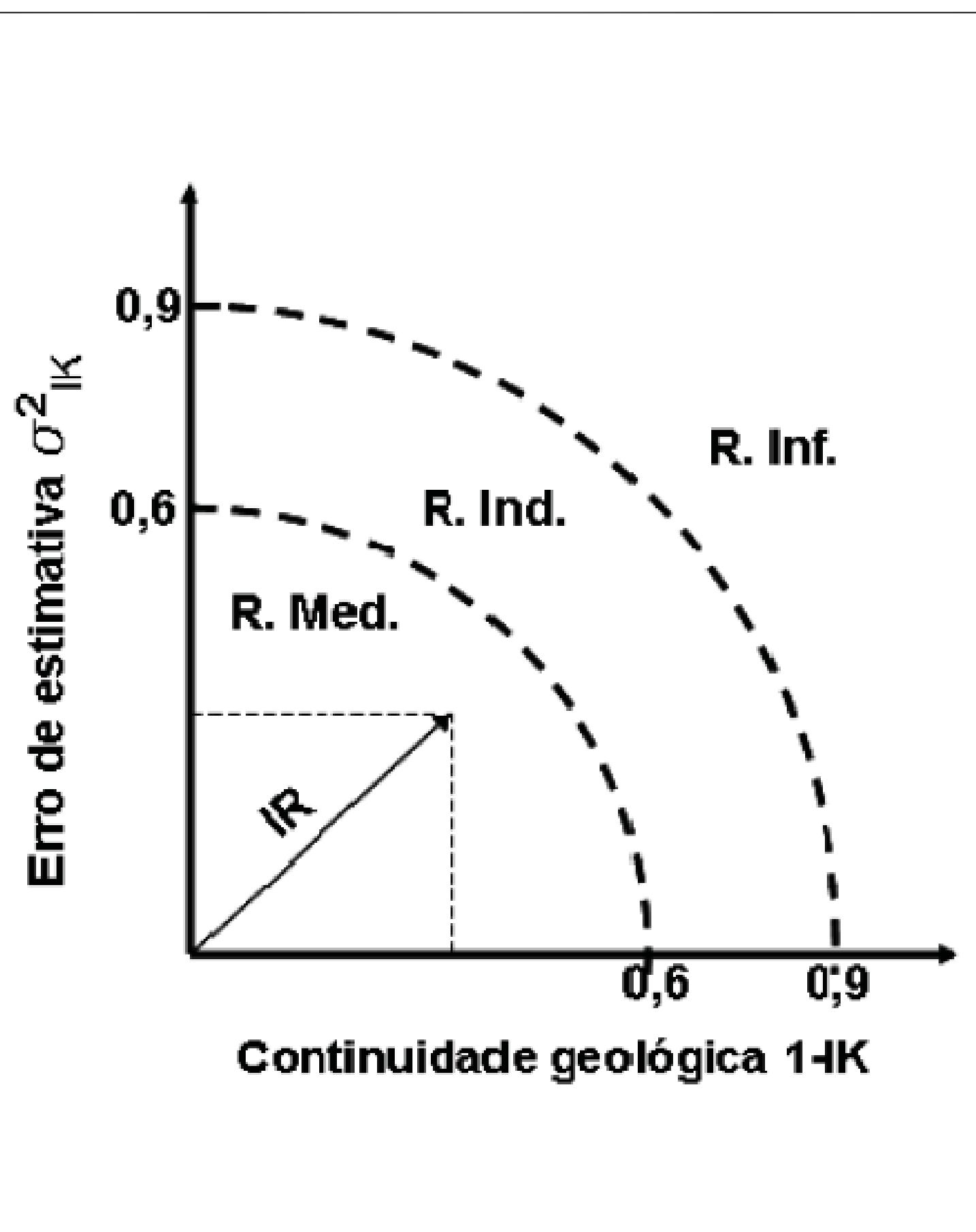
2) 噸位以原礦濕公噸計。

3) 估計資源量包括儲量。

4) 截至2007年12月31日的估計資源量。

6) 截至2005年12月31日的估計資源量。

7) 估計資源量由Vale完成，由Pincock公司編製。



## **4.0 開採情況審查**

### **4.1 總體情況**

Pincock公司的工程師在2008年12月實地調查了Vale的Fábrica礦區和Vargem Grande礦區的在產礦山和選礦廠。由於Apolo項目在Pincock公司項目組2005年3月實地調查的時候還未建設，而且該項目未進行開採，所以沒現場調查Apolo項目。Fábrica礦區的兩座礦山和Vargem Grande礦區的三座礦山都為大型露天礦山。本節介紹上述礦區和Apolo項目提議進行的開採工程方面的情況。每個礦山的具體開採情況將在本報告第8節介紹。

鐵礦床的地質情況影響開採情況，通過開採鐵建造的出露部分開採下部礦體。然後露天坑隨時間推移沿傾斜條帶狀鐵建造單元加寬加深。當露天坑底部擴大至低於周圍地形高度時，需要爬坡載重礦車運輸。

這些礦山中採用大型礦山設備搬運礦物。採用電鏟和礦車進行較大規模的廢石剝離和一些鐵英岩台階的開採，採用挖掘機和較小的礦車開採尺寸較小的赤鐵礦台階。Vale提交給Pincock公司一份包括每個礦區的詳細的設備清單，將在報告中分別介紹每個礦山的設備情況。進行開採工程的開採設備數量可能會隨露天坑和周圍設施需要的變化而產生波動。Pincock認為設備數量、設備維護水平以及Vale更換擴充設備的能力，足以保證設計原礦產量。

由於礦石的脆性，只有少數情況才需鑽孔爆破。僅當露天坑邊緣出現緻密赤鐵礦和緻密鐵英岩時，才需要進行爆破，以便於開採並在運出礦坑之前讓原礦形成較小塊度。緻密鐵英岩現在被視為礦石，但其分類將發生變化，由於Vargem Grande礦區和Fábrica礦區已獲批在未來幾年內建設成為處理鐵英岩礦石的選場，所以暫時將緻密鐵英岩堆存。目前Vale制定的儲量報表承認鐵英岩礦石。

礦石由礦車運至選廠或露天坑附近的初級破碎機（在Vargem Grande礦區中）。運輸距離有些變化，但目前露天開採界限之外很少有明顯的上坡路段。Pincock公司審查了Vale設計工程師為南部體系所有礦山設計的運輸方法。根據年度露天坑設計，以及工作表現和設備生產記錄數據庫中的操作和運輸時間，制定運輸計劃。Pincock公司認為這項工作完成得很好，能準確用於制定設備調度計劃。根據特定機械或一組機械工作小時，安排以適當時間間隔更換礦山中設備。

雖然更換設備會改善未來的生產情況，但在一些礦山中，設備沒及時更換。用於設備更換的預算計劃比較充裕。對於Vale所面臨的開採狀況、員工薪資、以及單位材料價格，其開採運營成本比較合理。

## 4.2 矿山设计

Pincock公司審查並評估了Vale所採用的露天坑開拓方法，以及給地質和開採塊體模型中所含礦物指定經濟性指標的方法，發現這些方法能滿足工程經濟實際需要。通過之前給礦體建立的資源模型，進行露天坑優化和邊界品位分析。目前識別的礦石類型包括：

1. 赤鐵礦，典型鐵品位高於64%；
2. 軟鐵英岩，鐵含量高於48%，對磷和錳含量上限有要求；
3. 高品位鐵角礫岩，鐵含量高於55%。

Fábrica礦區和Vargem Grande礦區的露天坑，將穿過赤鐵礦範圍，到達適合開採鐵英岩直至所設計的最終開採境界。適合開採的鐵英岩目前被堆存還是按廢石傾倒，取決於鐵英岩選廠的投產時間和處理鐵英岩的產能。

根據岩性（岩石類型）、地層鐵含量、以及其他質量參數，為資源模型的每個塊體指定了預期銷售產品。自然球團礦（NPO）需要簡單破碎和篩分，較細粒度的燒結料產品（SF）通過簡單重力方法或磁選進行分選。最細粒度的球團料（PF）通常通過浮選方法獲得。因此，根據礦石被送往那個備礦廠和哪種最終銷售產品，礦石選礦成本會有不同。在礦山設計階段就確定了產品回收率以及每種產品的鐵品位。

塊體劃分也會影響開採成本，最明顯的就是將原礦運至其傾倒位置所產生的運輸成本。工程部門估計了運輸距離、礦車載荷、礦車運行週期等因素，分別估算出了礦石運輸和廢石運輸的運營成本，並估算出穿孔爆破、鏟裝、道路維護、雜項和管理成本等其他相關的開採成本。此外，所有下游成本也被囊括進塊體成本模型，包括成品礦的鐵路裝車成本、運至港口的鐵路運輸成本、港口作業和裝船作業成本、以及一部分雜項和管理成本。

目前模型所採用的運營成本摘自2008年的實際成本數據。其中直接運營成本還包括用於開採的設備更換資金，以及在未來維持現有開採規模（不擴大規模）所需的額外支出。表4-1列出了各個礦山2008年下游成本和資金分配情況。成本和產品售價都較2007年有所增加，比匯率變化幅度更大。

**表 4-1  
Vale  
南部體系礦山儲量審計  
2008 單位成本 (美元／每噸產品)**

<b>Fábrica</b>	
<b>João Periera和Segredo礦</b>	
礦山	\$3.77
選場 ITM HM	\$2.01
選場 ITM ITAB.	\$7.20
管理	\$2.02
鐵路運輸 MRS	\$9.00
鐵路運輸 EFVM	\$2.54
港口 CBPS	\$7.41
港口 Tubarão	\$0.88
<b>Vargem Grande</b>	
<b>Abóboras 磺</b>	
礦山	\$1.19
選場 ITM HM	\$0.76
選場 ITM ITAB.	\$7.23
管理	\$1.07
鐵路運輸(MRS)	\$9.00
港口 (TIG)	\$1.04
<b>Capitão do Mato礦</b>	
礦山	\$2.82
選場 ITM HM	\$2.19
選場 ITM ITAB.	\$7.23
管理	\$1.11
鐵路運輸(MRS)	\$9.00
港口 (TIG)	\$1.04
<b>Tamanduá礦</b>	
礦山	\$4.29
選場 ITM HM	\$2.24
選場 ITM ITAB.	\$7.23
管理	\$1.11
鐵路運輸(MRS)	\$9.00
港口 (TIG)	\$1.04
<b>Gama礦</b>	
礦山	\$1.19
選場 ITM HM	\$0.76
選場 ITM ITAB.	\$7.23
管理	\$1.07
鐵路運輸(MRS)	\$9.00
港口 (TIG)	\$1.04
<b>3年平均實際售價 (美元／噸)</b>	
塊礦 - 外部市場	\$86.42
燒結料 -外部市場	\$53.60
球團料 -外部市場	\$49.85

**Vale**沒為其南部體系鐵礦計算和應用典型邊界品位。某些在產礦山中沒有在礦床中發現鐵品位的漸變趨勢，而在其他礦山中品位受地質礦物類型影響，而呈現出較大的漸變趨勢。因此，**Vale**為赤鐵礦和鐵英岩礦石類型之間設定了主要邊界。此外還有一套合適的分級體系，例如儘管根據嚴格邊界品位分析某些堅硬礦物可以進行開採、選礦並可獲利銷售，但目前不會對其進行開採選礦。

對資源模型中的每個塊體進行了收益計算，包括塊體噸位，所含礦石的預期收入（按各種產品計算），NPO、SF或PF的回收量，以及所獲不同產品的單位售價（以美元／噸度表示）。將收入扣減所有之前所列成本，得到每個礦塊的淨價值。採用嵌套方法和Lerchs-Grossman算法對最終開採境界進行優化，並進行檢驗確定開採境界中是否包括較多的推斷資源量，剝採比是否過大，以及露天坑的物理邊界是否越過DNPM礦權區的邊界或侵入需要保護的已有基礎設施。露天坑優化工作採用了礦塊開採時淨現值的概念，所以後續開採會最大程度提高運營現金流。

設計好露天坑最終境界，並制定好包括每年搬運礦物量的開採計劃，為未來總生產產品量作出預測。以固定匯率美元為單位制定價格和相關成本，所得稅率為34%。根據**Vale**的加權平均資金成本，稅後現金流的標準折現率為12%。同時還計算內部回報率，因此南部體系每個礦山的經濟性指標便於審查和比較。

一旦確定了最終開採境界，將以較短時間（通常為8-10年）開採露天坑，並製定所有岩石類型原礦的生產進度安排。隨後將由相應的流程工程師進行審查，如果需要還將重複進行這一工作。

#### **4.3 露天坑、排土場和尾礦庫的地質技術工程**

在2008年12月的審計工作中，Pincock公司對南部體系所有礦山所採用的地質技術評估和邊坡設計流程進行了審查。

自2001年起，**Vale**設立了由地質技術工程師、工程地質師和水文地質師組成的內部地質技術小組，負責對所有礦山邊坡、礦山排土場、尾礦庫以及水庫和沉澱庫進行調查、設計和監測。四大礦區都有各自的地質技術小組，負責每日對礦區的某些方面進行檢測和評估。此外，**Vale**還聘請外部顧問進行工程項目，以及對所有尾礦壩、排土場和採場邊坡進行年度第三方技術評審。

地質技術工程師結合勘探地質工作進行採場邊坡研究工作。根據國際岩石力學協會（ISRM）和巴西環境和工程地質協會（ABGE）所指定的工作流程，記錄所獲取的所有岩芯的地質技術特性。對記錄和分類體系進行了修改，加上一個級別，以表示鐵建造中常見的低強度岩石。設計分析主要針對旋轉及平滑坡度模式。分步驟進行採場邊坡設計，根據長期開採設計人員指定的優化採場設計，結合地質技術穩定性和開採實際情況進行。

地表水是影響邊坡穩定性的關鍵因素。採取的排水措施包括水平排水，深排水井以及採場中水池。採場中的監測系統包括壓力計和測量棱柱標杆，測量邊坡移動。傾斜計安裝在不穩定區域或移動速度較大區域。

設計新排土場主要需要注意基礎排水，以控制排土場中水量，保證排土場中物質和基土的穩定性，以及通過控制地表水達到控制地表水侵蝕和滲透的目的。對每個新排土場地區都進行了地質技術工作，並進行了專門設計。

由Vale人員與外部顧問，協同設計了新尾礦庫和沉澱庫。Vale還對已有壩體進行了所需的加高工程。工程根據公認的壩體結構工程規範進行。

#### 4.4 礦山壽命設計

一般先根據大約10年開採週期，再根據礦山壽命中的「數學」採場，設計達到最終開採境界之前的礦山年產量。Pincock公司認為Vale採用了合理的方法設計採場，因而採場開採壽命在未來將顯著延長。當然，進行修改的生產數據取決於未來市場、額外的礦區鑽探工程以及公司可用資金情況。

#### 4.5 儲量

表4-2總結了所進行審計的南部體系三個礦區的公佈儲量。這些儲量為2007年12月31日數據，而未包括2008年淨產量。在年終測量完成時，2007年12月儲量將扣減掉2008年產量。

表4-3總結了Pincock公司於2008年1月進行協調的公佈儲量和當前公佈儲量之間的差異。大部分增加儲量是由Vale計劃修建鐵英岩選廠，對此前當作廢石的鐵英岩礦物進行處理。Pincock公司注意到Vale忽略了已有排土場中的鐵英岩礦物，在新鐵英岩選廠投產之後，技術和經濟上將有可能對這些礦物進行處理。

表 4-2  
Vale  
南部體系礦山儲量審計  
2007年12月31日公佈儲量

Fabrica礦區儲量總結	證實儲量		估計儲量		總儲量	
	Mt	Fe%	Mt	Fe%	Mt	Fe%
<b>João Pereira</b> <sup>(a)</sup>						
赤鐵礦	18.1	63.8%	18.3	62.0%	36.3	62.9%
鐵英岩	253.7	41.7%	294.8	40.4%	548.5	41.0%
<b>總礦石量</b>	<b>271.8</b>	<b>43.1%</b>	<b>313.0</b>	<b>41.6%</b>	<b>584.8</b>	<b>42.3%</b>
<b>Segredo</b> <sup>(a)</sup>						
赤鐵礦	58.5	63.4%	49.8	57.8%	108.3	60.8%
鐵英岩	89.8	44.9%	113.5	44.0%	203.3	44.4%
<b>總礦石量</b>	<b>148.3</b>	<b>52.2%</b>	<b>163.3</b>	<b>48.2%</b>	<b>311.6</b>	<b>50.1%</b>
<b>Fábrica礦區總計</b>						
赤鐵礦	76.6	63.5%	68.1	58.9%	144.7	61.4%
鐵英岩	343.5	42.5%	408.3	41.4%	751.7	41.9%
<b>總礦石量</b>	<b>420.0</b>	<b>46.3%</b>	<b>476.4</b>	<b>43.9%</b>	<b>896.4</b>	<b>45.0%</b>
<b>Vargem Grande礦區儲量總結</b>	證實儲量		估計儲量		總儲量	
	Mt	Fe%	Mt	Fe%	Mt	Fe%
<b>Aboboras</b> <sup>(a)</sup>						
赤鐵礦	38.5	65.3%	17.0	63.3%	55.4	64.7%
鐵英岩	208.2	43.0%	205.7	42.2%	413.9	42.6%
<b>總礦石量</b>	<b>246.7</b>	<b>46.5%</b>	<b>222.7</b>	<b>43.8%</b>	<b>469.3</b>	<b>45.2%</b>
<b>Capitao do Mato</b>						
赤鐵礦	118.1	65.9%	144.7	65.0%	262.8	65.4%
鐵英岩	116.7	47.1%	459.6	45.9%	576.3	46.2%
<b>總礦石量</b>	<b>234.8</b>	<b>56.6%</b>	<b>604.3</b>	<b>50.4%</b>	<b>839.1</b>	<b>52.2%</b>
<b>Tamandua</b>						
赤鐵礦	124.9	66.1%	53.4	65.0%	178.3	65.8%
鐵英岩	167.1	47.4%	200.5	47.2%	367.7	47.2%
<b>總礦石量</b>	<b>292.1</b>	<b>55.4%</b>	<b>254.0</b>	<b>50.9%</b>	<b>546.0</b>	<b>53.3%</b>
<b>VARGEM GRANDE礦區</b>						
赤鐵礦	281.5	65.9%	215.1	64.9%	496.5	65.4%
鐵英岩	492.0	45.5%	865.9	45.3%	1,357.9	45.4%
<b>總礦石量</b>	<b>773.5</b>	<b>52.9%</b>	<b>1,081.0</b>	<b>49.2%</b>	<b>1,854.5</b>	<b>50.7%</b>
<b>Apolo礦區儲量總結</b> <sup>(b)</sup>	證實儲量		估計儲量		總儲量	
	Mt	Fe%	Mt	Fe%	Mt	Fe%
赤鐵礦	157.4	63.6%	131.3	63.3%	288.7	63.4%
鐵英岩	142.2	50.5%	222.0	50.1%	364.2	50.3%
<b>總礦石量</b>	<b>299.6</b>	<b>57.4%</b>	<b>353.3</b>	<b>55.0%</b>	<b>652.9</b>	<b>56.1%</b>

(a) 赤鐵礦儲量包括赤鐵礦以及鐵角礫岩和Rolado礦石等赤鐵礦化上覆礦物。有些時候赤鐵礦化礦物和Rolado礦物在資源評估中歸為鐵英岩。隨後的分析中確定這些礦物最好按赤鐵礦進行選礦，目前按赤鐵礦儲量計算。

(b) Apolo項目的審計儲量包括兩處目前不是由Vale所控制的DNPM礦權區中的礦石量。獲得這裡所公佈儲量的合法開採權，需要獲得這些礦權區的開採權。

表 4-3

Vale

南部體系礦山儲量審計

2007年至2008年之間儲量變化

	2008年		2007年 <sup>(b)</sup>		變化	
	噸位 (mt)	Fe品位	噸位 (mt)	Fe品位	噸位 (mt)	Fe品位
<b>Fabrica礦區</b>	896.4	45.0%	466.0	50.2%	430.4	-5.2%
<b>Vargem Grande礦區</b>						
Abóboras	469.3	45.2%	26.5	66.1%	442.8	-20.9%
Capitão do Mato	839.1	52.2%	121.4	66.2%	717.7	-14.0%
Tamanduá	546.0	53.3%	75.1	66.5%	470.9	-13.2%
<b>Apolo項目</b>	652.9	56.1%	278.7	58.3%	374.2	-2.2%

(a) 2008年指當前審計的截至2007年12月31日的公佈儲量，考慮了更新的資源模型。

(b) 2007年指由2005年儲量經扣除2006年和2007年產量獲得的2007年12月31日儲量數據，但此乃根據2005年審計的資源模型和儲量計算結果。

## 5.0 選礦

南部體系礦山中鐵礦石選礦主要針對赤鐵礦和高品位鐵英岩，需要比較簡單的選礦流程進行選礦。出於提高產量並減少以開採高品位礦石儲存量的策略考慮，Vale計劃建設新選廠處理主要為硬鐵英岩的低品位礦石。下列章節介紹了Fábrica和Vargem Grande礦區當前選場的大致情況，以及計劃建設用於處理鐵英岩礦石的選礦情況。Apolo項目的選廠將同時包括這兩種選礦系統。本報告的第8節將詳細介紹選礦工作和每個礦山的選礦成本。

### 5.1 高品位礦石選礦

南部體系礦山典型高品位礦石選礦流程首先包括多級乾磨和篩分，生產塊礦，hematitinha塊礦和燒結料產品。粉礦或上述乾法選礦步驟中顆粒過小的部分隨後進行濕選，包括採用進一步篩分、分級、高強度磁選和重力分選，生產額外燒結料和球團料。球團料經濃密機脫水並過濾。然後將重新研磨的濾餅運至球團廠或當球團料出售。

Fábrica礦區的赤鐵礦原礦平均品位約為55%，Vargem Grande礦區約為65%。Apolo項目的赤鐵礦原礦品位預計約為61%。選礦回收率變化範圍為Fábrica和Apolo礦區的約75%至Vargem Grande礦區的83%（2008年）。尾礦排入圍壩所組成的尾礦庫中。尾礦鐵品位為50-60%。表5-1表示了每座赤鐵礦選廠2008年的預算產量和Apolo項目的預計產量。

表 5-1

Vale

南部體系礦山儲量審計

2008預算產量

產品	Fábrica礦區		Vargem Grande礦區		Apolo項目 <sup>(a)</sup>	
	比例	Mt	比例	Mt	比例	Mt
塊礦	5%	0.931	14%	4.878		
Hematitinha塊 礦	4%	0.651	8%	2.84		
	32%	5.766	53%	18.605	50%	16.1
燒結料	27%	4.924	12%	4.176	25%	7.9
球團料	33%		13%		26%	

(a) 預計產量

Vale估計Fábrica礦每噸產品的選礦成本為4.02雷亞爾（2.23美元），Vargem Grande礦區的選礦成本為4.63雷亞爾（2.58美元）。Apolo項目赤鐵礦選場的預計選礦成本為5.5雷亞爾（3.06美元）。

第8節中將介紹選廠設計和選礦工作。總體上，Pincock認為選礦設施設計具有設計合理的選礦流程。選廠和設備維護和使用情況比較好。

## 5.2 提出的鐵英岩選廠

為了在餘下的鐵礦石開採週期中提高球團料產量，並能繼續開採南部體系礦山的低品位鐵英岩，Vale計劃在Fábrica和Vargem Grande礦區建設新的鐵英岩選廠，並在Apolo項目中建設鐵英岩選廠。每個礦山的鐵英岩選廠都會分期擴建。表5-2總結了計劃的選廠建設和選廠產能。

表 5-2

Vale

南部體系礦山儲量審計

鐵英岩選廠進度安排和產能

	Fábrica礦區		Vargem Grande礦區		Apolo項目	
	年份	產能 <sup>(a)</sup>	年份	產能 <sup>(a)</sup>	年份	產能 <sup>(a)</sup>
1期	2014	10	2011	10	2015	8.2
2期	2016	10				
總計		20		10		8.2

(a) 產能指生產的最終球團料產品

如表5-2所示，Vargem Grande礦區的鐵英岩選廠會首先投產，隨後依次為Fábrica礦區的鐵英岩選廠一期工程和Apolo項目的鐵英岩選廠。用於處理鐵英岩礦石的總體選礦技術已經由Vale其他位於巴西的礦山進行了證明和發展，所以沒有技術風險。三個礦區選廠的流程互不相同，乃由於每個鐵礦床都具有獨特的礦物特性。但是，其他選廠已經採用了其中每個單獨的操作步驟和設備，Vale也仔細選擇這些步驟和設備，並在實驗規模選廠進行了評估，證實了流程和選礦設備的規模。Vale還能採用其他在產選廠的實際數據和運營成本數據，制定鐵英岩選廠切實可行的性能參數並預測成本。此外，由於Vale目前正在建設新選廠，並對老選廠進行擴建，所以能為新選廠預測可信的資金成本。由於所有上述因素，設計的鐵英岩選廠項目具有較好的可信度。

總體上，鐵英岩選礦包括三個步驟。第一個步驟包括破碎、篩分和在均勻礦堆中堆存。選礦第二步，將破碎的礦石從均勻礦堆取出，進入三級和四級乾篩乾磨。第三步為濕選，在這一步中將鐵礦石與廢礦分離。破碎礦石進入大型球磨機，在帶有水力旋流器的閉路迴路中進行研磨。水力旋流器的底流將回到球磨機繼續進行研磨，溢流進入脫泥迴路得到浮選礦料和泥質尾礦。浮選礦料經過一系列浮選單元對含鐵礦物進行濃縮，隨後進入濃密機和真空過濾機進行脫水。浮選產生的尾礦排入尾礦壩。

表5-3列出了鐵英岩選廠項目的資金成本和運營成本。如前文所述，由於項目投產時間不同，工程進度也不同。**Vargem Grande**選廠進度最快，最近完成了可行性研究級(FEEL3)成本估算。**Vale**最近通過建設Brucutu項目等項目建設積累的經驗，為進行可靠的成本估計和根據儲量分析並論證經濟可行性提供了基礎。第8節中將介紹每個項目的經濟敏感度分析，分析表明這些項目具有經濟可行性。

**表 5-3**  
**Vale**  
**南部體系礦山儲量審計**  
**鐵英岩選廠資本成本和運營成本**

	預計資金成本 (百萬美元)	預計運營成本 (美元／噸 產品)
Fábrica礦區	849.00	7.62
Vargem Grande礦區	1.18	8.05
Apolo項目	1.03	8.02

## 6.0 基礎設施

Fábrica 礦區、Vargem Grande礦區和Apolo項目都位於貝洛奧里藏特75公里以內，服務和供應商都可以在貝洛奧里藏特找到。米納吉拉斯州的採礦活動是Vale南部體系礦山後勤支援補給的重要基礎。以下總結了這個地區的整體基礎設施條件，而Apolo 項目的基礎設施需要的具體問題將在第8節討論。

### 6.1 交通設施

貝洛奧里藏特地區的鐵路和公路設施完好，能夠通往各個城市和小鎮，還有定期安排的航班。大多數國際航班可以通向聖堡羅或者里約熱內盧。

該礦區位於鋪設好的公共高速公路旁邊。南部體系礦山的產品經過鐵路運至圖巴朗或塞佩提巴港口， Vargem Grande礦場只能通過塞佩提巴港口運輸。港口設施包括最終產品的整合設施、火車卸貨和裝船設施。在審計階段，Pincock公司並無審計這些港口設施。

### 6.2 員工住宿和其他服務設施

Fábrica 採礦作業周圍的社區為員工提供了住宿，因此 Vale 不為員工提供住宿。同時，周邊社區還有充足的學校、醫療服務和商店，以滿足員工的需要。採礦現場也有醫療設施以應對突發事件，但是，醫療設施在貝洛奧里藏特和其他當地社區（如 Fábrica 礦區周圍的 Congonhas）也有提供以滿足採礦的需要。

### 6.3 通訊設施

通過移動電話發射塔，礦石輸送路線周圍可以用電話聯繫，在採礦現場，也可以使用互聯網通訊。

### 6.4 水和汙水處理

工藝用水主要來自地表水，大部分是尾礦庫水裏回收的水或者是來自地表水蓄水。

### 6.5 電力供應

所有採礦現場的電力由國家電網供應，據悉，這是相當可靠的電力供應，不會影響採礦作業。

## **6.6 燃料供給**

柴油由卡車運送至礦井，同時，所有的礦井採礦現場還提供了大容量儲存設備。

## **6.7 採礦現場基礎設施**

礦井現場的設施如下：

- 維修店
  - 焊接車間
  - 重型和輕型汽車維修
  - 輪胎店
  - 汽車清洗
- 倉庫
  - 辦公室倉庫
  - 人員倉庫
  - 管理倉庫
- 進入通道
  - 醫療診所
  - 中央餐廳
  - 一般服務
  - 車輛和公共汽車
- 安全設施
  - 消防局與滅火車
  - 變電站及配電
  - 產品運輸系統

## 7.0 環境、衛生與安全

為了 2004 年 12 月儲量的審計，Pincock 在 2005 年 3 月審計資源量和儲量時，已經完成了對 Vale 環境、衛生與安全（EHS）方面的全面審閱。這次審閱的目的是為了確定影響 Vale 開採礦石儲量能力的環境、衛生與安全問題，或者確定會給南部體系的持續採礦作業帶來風險的 EHS 問題。在這個背景下，儲量審計中包含的 EHS 並沒有涉及所有步驟、活動以及 EHS 管理的相關記錄，而是集中在確保採取了正確的措施來識別、監測和處理 EHS 帶來的風險和影響。在目前的審計階段，除了實地考察，也討論並確認在 2005 年 5 月報告公佈的方案和條件仍然適用。下面介紹了 2005 年聯合實地考察結果，並在 2008 年實地考察證實。

Pincock 的 EHS 審計的方法主要集中在以下三方面：

. 關於許可證：Vale是否取得了允許其開採法定儲量的所有法律許可證和環境許可證。

. 關於管理：是否有一個EHS管理體系以及這個體系是否管用。

. 關於監測和遵守：有否對許可證要求的環境參數進行監測，以及採礦的經營有否違反監管的規定嗎？

Pincock在進行這次的審計時，主要依靠Vale提供的資訊和資料，同時還包括我們對礦井現場和相關的設備所進行的觀察。這次審計的範圍不包括詳細的環境審計以及確認其是否符合監管機構的規管。

### 7.1 法律和許可

聯邦、州府及當地政府的監管機構會同時監察生態保護、土壤和自然資源保護、環境保護及污染控制。就完全位於米納吉拉斯州的南部體系業務而言，環境發牌工作是通過國家 Secretary for Environment and Sustainable Development (SEMAD)來進行，受到國家 National Department of Mineral Production (DNPM)的聯邦級管制。

#### 7.1.1 監管架構

1988 年巴西聯邦憲法中，礦產資源被視為聯邦政府的資產，礦業公司是否擁有礦的合法權利由聯邦政府判定。

巴西聯邦政府根據**1967年2月28號法令第27條**的採礦法規向礦業公司授出採礦權。地面所有權和採礦權是分開的，因此，一個企業可能已經從聯邦政府那取得有效的採礦權，但它仍然需要與地面所有權的擁有者商討獲得許可，才可以合法開採。

採礦法規自通過以來已經多次修訂，主要處理就勘探許可證和採礦許可證（採礦判令）的發放，它需要在專案倡議者在展示了該專案的技術和經濟可行性後發放方可獲得發放。採礦判令加上相應的環境許可證是構成採礦權的基礎。採礦判令是授予權力可以在某一特定區域內開採某一特定礦石。負責頒發採礦權的聯邦部門是 National Department of Mineral Production (DNPM)，採礦判令所給予的採礦權經 DNPM 批准可予轉讓。2003 年 Vale 收購了 Fábrica 礦場後，這些礦場中原有採礦判令也同時被轉讓。

除採礦判令外，必須就採礦專案的環境和社會影響取得額外的監管批准。聯邦、州府及當地政府的監管機構會同時監察生態保護、土壤和自然資源保護、環境保護及污染控制。就 Fábrica、Vargem Grande 和 Apolo 整個位於米納吉拉斯州的業務而言，環境發牌工作是通過國家 Secretary for Environment and Sustainable Development (SE MAD)來進行。國家 Council for Environmental Policies (COPAM) 負責制定環境質素的技術規範和指引。國家 Foundation for the Environment (FEAM) 負責批准採礦業務，是 SEMAD 的領導機構和隸屬於 COPAM。FEAM 負責審閱和評估採礦專案以確認所建議的礦產發展將符合 COPAM 所制定的環境政策。作為監管審批過程的一部分，國家林業處 (IEF) 以及 Water Management Institute (IGAM) 分別負責審批有關農林業和水資源的問題及作出評論。

採礦經營的環境發牌要經歷以下三個階段：

- 提交擬議專案的基本情況的時候，會發出初步牌照 (LP)，以期望確保這個項目將符合COPAM的技術規範和指引。
- 當設備的詳細設備設計完成以後，就會發出安裝牌照，以期望確保設備符合與初步牌照列出的專案目標。
- 當項目完成並開始實施時，就會發出經營牌照 (LO)，以期望確保設備符合要求的規範和標準。經營牌照的最短有效期限是四年，如果專案被認為對環境影響不大，會批出期限至八年的經營牌照。在重新經營牌照及延續經營牌照時，需要提交有效的環境控制和項目修改計劃，如果續牌的時候經營並不符合要求，將需要提交建議改善計劃。

自從80年代後期至90年代，環境法規和要求發展以來，就有必要規範之前已經操作的礦場了。1994年，已要求礦業公司通過發出糾正經營牌照(LOC)將它們的採礦合法化。作為合法化的一部分，採礦經營要上交計劃以處理不能符合環境法規的操作，並且要按規定在四年間完成該等項目。如果項目到第四年底仍然不能完成，礦業公司將需要解釋為什麼不能如期完成項目，同時要提供已經完成的項目檔。

更新經營牌照或者糾正經營牌照時，要提交環境評估執行報告(RADA)，這個報告對環境控制措施提出了分析，如果適用的話，提出對環境管理和控制系統的修改方案。

作為發牌程式的一部分，需要進行環境影響分析。該分析的詳盡程度取決於潛在影響的重要性。就Apolo專案這樣重大的專案而言，全面的環境影響評估是必要的，包括跨機構的審閱和公眾諮詢、提供審閱檔的公告以及支付若干稅項或費用。環境影響評估結果要上交兩個檔，一個檔是*Estudo do Impacto Ambiental*（又稱環境影響分析報告），另一個文件是*a Relatório de Impacto Ambiental*（又叫關於環境影響的報告）。檔EIA提出了物質環境基線特徵、水文條件、生態環境、和項目區的社會經濟條件的評估和特點。檔RIMA提供了專案的目的和需要，分析專案對環境的影響，考慮可以減少影響的其他方案；提出緩解措施以減輕某些不可避免的影響，並提供了監測方案對這緩解措施的有效性進行評估。

水資源利用和水的提取受 IGAM 管制。該等團體在建議開發或提取水資源時，必須證明對分水嶺基流沒有重大影響。目前正在組成水盆地委員會，就每個水域控制用水。Vale 預計，水用戶將根據其用水量和返回水域的水的品質收取一定的費用。從這項計劃中收集的費用將用來支援濾水廠和污水處理廠的建設和運營。

### 7.1.2 新項目的批准

Fábrica 綜合專案 和 Vargem Grande 綜合專案的新建鐵英岩洗選專案將需要取得監管批准和修改現有的經營牌照。據此，這些將被視作是現有業務的擴建專案，故需要獲得安裝牌照方可興建廠房，然後 FEAM 會發出經營牌照。這些可以大致被視為是行政程序，以進行技術審閱以確認擴建項目將達到原來經營牌照的表現標準。

由於 **Apolo** 被視作為一新項目，因此其審批將涉及更多的工作。按照監管要求，**Vale** 目前在獲得第三方顧問的協助下，正準備提交 **EIA** 和 **RIMA**。已經舉行公眾會議，以了解當地居民的關注，此為準備 **EIA／RIMA** 文檔工作的一部分。預計在 2009 年初提交 **EIA／RIMA**，大約兩年時間內，就可以拿到 **Apolo** 項目的安裝牌照。

從 **Pincock** 對 **EIA／RIMA** 提交的進度表和範圍的審閱來看，我們認為，考慮到整個專案實施進度，**Vale** 提交的批准進度表是合理的。與其他重大專案的批准一樣，綠地開採專案也涉及監管過程、公眾審閱及評論，確切的時間表和更多的研究或評估是否需要還不確定。**EIA／RIMA** 確定範圍程式的公眾會議期間收到的評論表明公眾對水資源影響的關心，原因是這個項目的用水需求、尾礦處置和水壩沉澱物堆積都是公眾關注的熱點。同時，已經研究了在施工及運作期間引入的員工所帶來的影響。由於發展「門禁社區」，及「公寓發展」，導致改變土地用途，令該地區偏離原來世代的耕作模式。同時，公眾對噪音、塵埃及視覺影響都十分關注。南部體系以前是由 **MBR** 經營的，它毗鄰貝洛奧里藏特的上班族社區。**Vale** 成功擴大部分南部體系表明它有能力在這種環境成功經營，但是，到現在還沒有獲得環境牌照，表明此發展還是面對風險的，雖然這類項目發展在早期階段出現這些風險是十分正常。

### 7.1.3 採礦權

公司必須取得DNPM批出的法定授權，方可擁有合法開採被定義為可開採礦藏的物質的權利。**Vale** 的採礦計劃已經被審閱，以確認擬定礦藏量的最終準備開採的礦坑是位於採礦判令授予的範圍內。根據**Pincock**的審閱，**Vale**在計算其礦藏量時，已經正確地只根據採礦判令所容許的開採操作中所能開採的礦石計算。**Vale**地面所有權的範圍以內，可能會出現其他地表問題，例如尾礦處理或者礦山廢棄物處理。但是，所有提取礦石的採礦經營都是在採礦判令規定的地區裏進行。

根據 **Vale** 的陳述，目前的 DNPM 採礦判令已經向所有在 **Fábrica** 和 **Vargem Grande** 礦場的最終礦坑限度以內的礦石都授予合法權利。**Pincock** 完成了這個檔的審閱，認為它很全面，但我們的審閱不能當成是法律審閱並確認擁有開採權。

關於 **Apolo** 項目，它設定的一部分最終礦坑（用於含量估計）有一部分地區位於 **Vale** 目前並沒有獲得 National Department of Mineral Production (DNPM)的採礦特許權的地區。在該地區目前有兩個特許權并非由 **Vale** 擁有。**Pincock** 知悉，正與擁有特許權的其中一個公司進行協商，並且正在準備與第二個特許權的公司開始協商。**Pincock** 知悉，目前持有該等採礦特許權的人士，其開採權同時受到 **Vale** 所擁有的土地業權所限制，因此，只有雙方共同合作，方可有效地開發這些礦石資源。**Pincock** 認為，**Vale** 有很大機會，通過與 DNPM 特許權持有人達成協議，以獲得採礦 **Apolo** 儲量的權利。我們理解，如果協商不成功，**Vale** 將需要尋求法律訴訟，以獲得開採的合法權利。因此，根據開發這個新項目儲量的時間表，**Pincock** 認為 有理由相信 **Vale** 將可以獲得開採目前估計的儲量的開採權。

## 7.2 環境管理

### 7.2.1 政策和架構

**Vale**已經針對南部體系礦山制訂了一個環保政策，以符合可持續發展和尊重員工的健康與安全的原則。這個政策包括以下主要的承諾：

- 經營的時候要通過做法及措施，以控制產品品質和服務品質，防止污染、意外事故和職業病的影響。
- 將員工的健康和安全凌駕於公司利潤和生產。
- 盡量優化利用材料和能源，以保護自然資源和確保競爭力。
- 符合法律規範，履行公司已經簽署或保證的其他承諾。
- 保持與客戶，社區，員工和其他有關有利益關係的各方的溝通管道。
- 通過定期評估客戶在環境、健康和安全方面的需要不斷改進經營。
- 培養和提高員工的意識，並鼓勵供應商和服務供應商按照這些政策行事。

**Pincock**認為這些政策與一些國際礦業公司簽署的環境政策是一致的。我們可以注意到這是  
由單位總經理簽署的環保政策來表達從最高層到基層的個人承諾。

南部體系環境管理體系通過了ISO 14001標準，並接受定期外部審閱和審計以確認符合ISO  
作業標準和慣例。在2000年6月至2002年12月在各項作業中實施ISO 14001管理體系。在  
ISO 14001管理系統的操作下，經營要進行定期審計，以確保符合環境管理計劃的規定。

**Vale**的南部體系是在一個集權環境管理員工下進行，南部體系內的每個採礦綜合專案都由永  
久常駐該專案的特定環境管理員工專門負責管理。從**Pincock**對環境管理總體結構的審閱以及  
**Fábrica** 和 **Vargem Grande** 實施的結果，我們認爲環境問題正在得到有效和高效管理。**Vale**  
的環境管理方案被認爲是採礦業的最佳管理實踐的代表。

### 7.2.2 環境管理計劃

在2005年實地考察和資料審閱期間，**Vale**已經提供了主要環境管理計劃或關於管理計劃實  
施討論的副本。其中包括：

- 固體和危險廢物管理
- 洩漏預防和應對
- 應急回應
- 現場環境監測，包括地表水品質、爆炸地面振動、空氣超壓和空氣品質
- 社區關係與溝通

從**Pincock**的審閱結果，我們認爲這個環境管理計劃在環境系統的實施適用於主要的礦  
業公司。在實地考察時，對環境管理實踐進行了觀察，發現它符合行業最佳管理實  
踐。但是**Pincock**認爲還有三個方面在監管和最佳管理實踐方面有保留意見。

第一方面是涉及到水質監測問題。目前，並沒有對地下水品質進行定期監測。典型的最佳  
管理做法是監測地下水採礦作業時的上下傾斜度，看其是否會影響採礦業務。我們知道，  
監管機構並不要求地下水質監測作為鐵礦石開採檢測的一部分。鑑於廢礦和尾礦的惰性以  
及採礦過程中使用的化學劑都屬於相對溫和，因此，不監測地下水表明了對地下水水質  
的潛在影響有限。

第二個方面涉及到地表水質監測結果。Pincock理解，南部體系排放水質標準是根據適用於巴西全國的聯邦級標準而制定，它並不考慮受納水體或區域水域特定背景的水質。

Vale的可溶性鐵，酚類，油脂參數經常超標，在一些地區，還有全部糞大腸菌群超標。在監測點以及採礦點的下游的監測點都有超標的情況。Vale通過分析水質的上游和下游的採礦作業，解釋了這些FEAM超標。根據Pincock的審閱，認為Vale有合理的理由提出，這些採礦作業的超標排放並無對水質造成影響，因為上游和下游的水質是相似的，相反超標只是一個標準函數，並不反映該地區的基準水質。

第三個方面涉及表土回收和儲存的做法。目前，Vale只回收了一小部分可利用的表土，這不符合普遍接受的礦石回收做法，因為大多數其他類型的礦井都要求將表土放在廢礦和尾礦上面，以促進可持續恢復植被。但是，南部體系礦山的廢礦和尾礦性質很適合直接恢復植被。Vale在可持續的原生植被方面，已經實現了廢礦和恢復尾礦直接植。因此，雖然Vale缺乏表土復蘇是不符合公認的慣例，但不影響它複墾礦地的能力。

### 7.3 關閉和回收計劃

Vale的南部體系礦山在回收和關閉方面有著非常有利的條件。這些廢礦（包括尾礦和無經濟價值的廢礦）從地質化學角度看相對溫和，沒有典型的硬岩礦問題，如酸性岩礦廢水或者有毒金屬流動問題。已經定期對廢礦和尾礦的直接恢復植，運作相當成功。已經制訂好一個解決廢礦回收的標準化方法，包括建立一個坡度為 $2:1$ （寬與高的比）的廢礦垃圾場和中級的10米高的梯田，其坡度為 $2.75:1$

地表水回收池建立在梯田上，結構是向下排放至垃圾場表面或者垃圾場外緣地方。向下排放的結構能鞏固鋼筋混凝土溝渠，使其自然排水。

垃圾場表面和頂部表面回收工作分為兩個步驟，第一步在侵蝕的表面穩定後種植植被以及在土壤中種植固氮草防止侵蝕。第二步包括種植原生草、灌木和樹木永久恢復植被。表土可用的時候是放置在0.5米層。不過，Vale的經驗是，利用廢礦直接恢復植被可以達到永久恢復的目標。

垃圾場建立的時候是底部向上，這樣，較低的斜坡可以擴建到最終形態。這樣建立垃圾場可以使較低坡度裏的礦石一起回收，從而在礦工結束時或者垃圾場滿的時候減少回收費用。

目前，在礦場的開採期結束後，大量現有的尾礦和沉澱礦池將變成永久性湖泊。倘若該湖在生態上是可行的，符合一般廣為接受的在使用結束後土地用途，并為大壩和溢洪道提供了足夠的安全保障，這將是廣被接受的關閉礦井後的做法。**Pincock**觀察到，只要能夠排去不受控制的水流，在尾礦上主動恢復植被並不困難。看來，如果規定必須對尾礦表面恢復植被，應該可以以類似於垃圾堆填區上操作的方式般完成。

每個礦井經營的年度預算包括每年回收工作的運營成本。每年的回收計劃是由礦井的工作人員編製然後上交給**FEAM**審閱和批准，最後再作為日常採礦工作中的一部分實施。這些費用將被列為礦產經營成本。

**Vale**將最後的回收和關閉礦井視為財務責任，因此，這些被認為是「沉沒成本」，不會影響礦井的經濟效益（可採礦儲量被認為是持續的採礦作業）。

#### 7.4 健康和安全

**Vale**已經制訂了一個健康和安全方面的方案，在過去幾年中，這個計劃有過重大的修改並重新調整。這個安全方案的準則如下：

- 員工通過安全部門接受安全培訓，個別工作安全培訓為整個就業培訓的一部分。
- 風險識別和分類
- 分析活動、風險和預防措施
- 側重於提高風險意識，防止意外
- 每天至少十分鐘安全審查
- 實施安全方案的審計時，集中在保障向審計經理彙報的工人的安全。

從**Pincock**的審閱和現場觀察看，這個方案的基礎在於對工人的培訓、提高工作地點風險和危險意識和個人勘探設備的正確使用。然而，在南部體系的所有場地中，要統一實施綜合專案，還有其他工作需要完成。

## 7.5 總結

EHS包含在儲量審計的目的是為了確認可能影響開採法定含量的環境、健康及安全問題，或者會對經營的持續能力帶來風險的EHS問題。在完成了對ValeEHS許可證、管理計劃、承諾和監控資料的審閱後（2005年3月還有檔審閱和實地考察），Pincock認為並沒有重大會阻止Vale南部體系開採法定儲量的EHS問題。

與世界大部分地區一樣，不斷開採的過程中將涉及不斷變化的監管框架。鐵英岩專案要獲得審批將需要先修改現有的經營牌照，並要為新加工廠、尾礦處理水壩和整個新Apolo專案取得安裝牌照。Pincock認為，根據這個地區的採礦經營歷史、周圍的土地利用和米納吉拉斯州採礦經營的監管機構，Vale將有很大機會獲得其擴建工程的批准。然而，比鄰其他開採礦場，將代表日後如果Vale需要在DNPM採礦特許權的土地範圍外，需要土地的地面權以處理廢石和尾礦時，將會面對競爭。

## 8.0 FÁBRICA礦區

下面介紹了Fábrica礦區的詳細情況。Fábrica礦區包括Vale於2003年向Ferteco Mineração, S.A收購的João Pereira礦和Segredo礦。João Pereira礦自1956年開始開採，Segredo礦於1984年開始開採。

### 8.1 地質情況

Fábrica礦區位於鐵四邊形南部鐵建造的向南走向的分枝上。João Pereira礦和Alto Bandeira礦位於鐵建造的Dom Bosco向斜的40公里長東西走向分枝上（見圖8-1）。Segredo礦包括Ponto 2、Ponto 3、Area 10和Segredo幾個礦體。Dom Bosco向斜西部包圍礦區，靠近Moeda向斜。

該地區的地層序列包括五個地質單元：

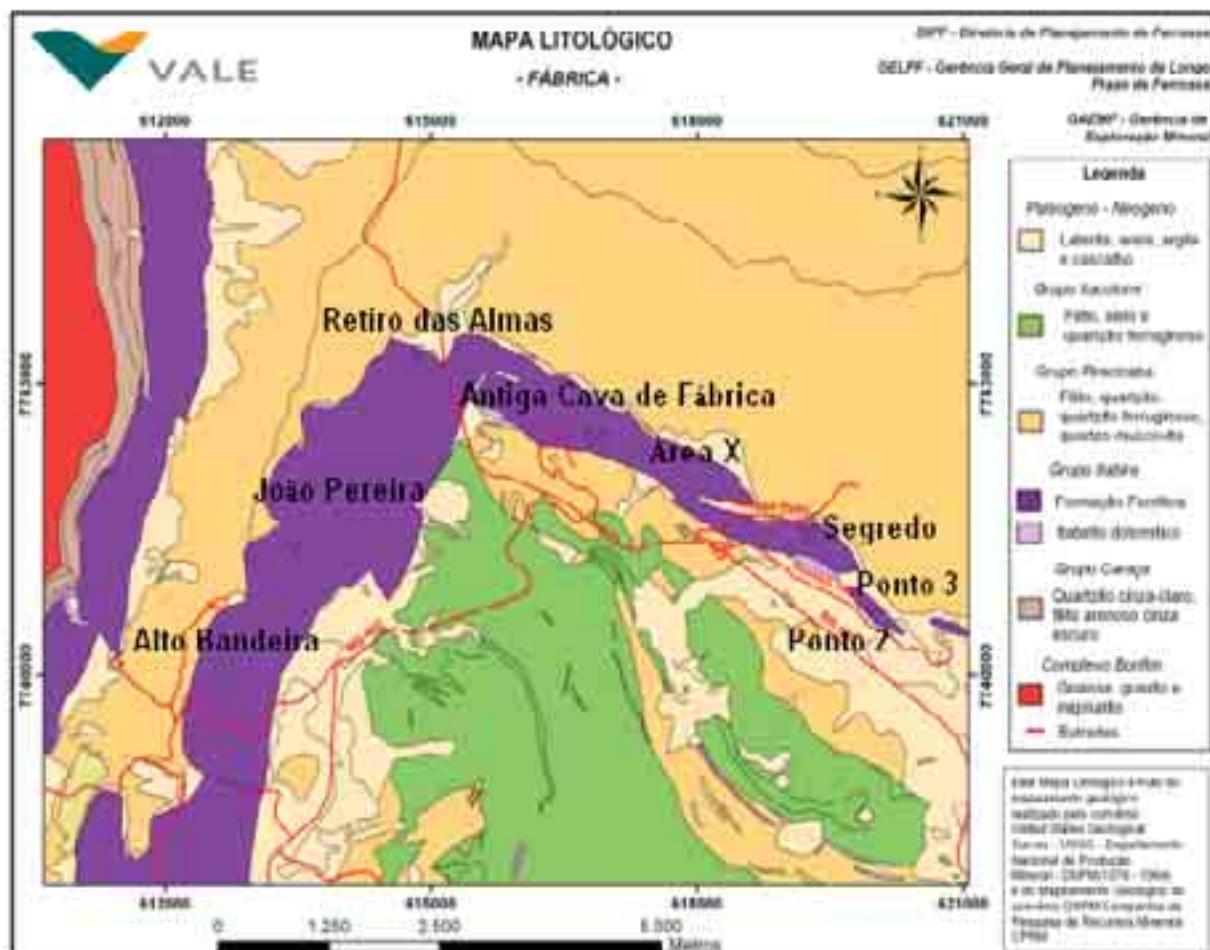
- 太古代晶質基底片麻岩；
- Rio das Velhas 超群的千枚岩和石英岩；
- Minas 超群的鐵建造、變質沉積岩和正石英岩；
- Itacolomi 群的石英岩和變質結礫岩；
- 晚近上覆層，包括鐵角礫岩、紅土和 Rolados 鐵礦石。

晶質基底岩石為不同組分的條帶狀片麻岩、混合岩和花崗岩，以及Bonfim和Belo地層的變質雜岩。Rio das Velhas超群包含（從下到上）Nova Lima群和Maquiné群。Nova Lima群含有千枚岩、石墨質千枚岩、絢雲母片岩、變質雜砂岩、鎂鐵質和超鎂鐵質Algoma型鐵建造、變燧石和白雲岩。Maquiné的底部邊界為侵蝕不整合。基質結礫岩依次被塊狀石英岩、片岩、絢雲母石英片岩和千枚岩上覆。

Minas超群含有Caraça群、Itabira群、Piracicaba群和Sabará群。Caraça群由Moeda組和Batatal組組成，在該地區西部Serra da Moeda呈連續條帶狀。Moeda組含有變質結礫岩、千枚岩、以及含絢雲母和白雲母的細粒石英岩。組含有絢雲母質千枚岩和少量變燧石、鐵建造和石墨質千枚岩。

Itabira群包括Cauê組和Gandarela組。在底部，Cauê組含有鐵英岩、白雲質鐵英岩、和角閃質鐵英岩，約為200米至400米厚。Gandarela組與Cauê組之間形成漸變接觸，含有白雲質千枚岩、白雲岩和千枚岩。

圖 8-1  
Segredo礦床和João Pereira礦床區域地質圖



Piracicaba群沿Serra do Curral的全長都有出露，從底部到頂部依次為Cercadinho組、Fecho do Funil組、Taboões組和Barreiro組。Cercadinho含有石英岩、含鐵石英岩、千枚岩和白雲岩。Fecho do Funil組含有白雲千枚岩、千枚岩和含雜質白雲岩。Taboões組含細粒等粒正石英岩，Barreiro組主要含千枚岩和石墨質千枚岩。

Sabará群在Serra do Curral北部出露，含有絢雲母千枚岩、綠泥岩片岩、黑雲母片岩、變質雜砂岩、石英岩、長英石英岩、鐵建造、鐵英岩和含白雲岩夾層的變質結礫岩。Itacolomi群含有千枚岩、矽質片麻岩和石英岩。在花崗岩-片麻岩雜岩體中發現了鎂鐵質侵入體。侵入岩的形式為侵入岩脈、侵入岩栓和侵入岩株，長度可達500米。Itacolomi群含有千枚岩、石英質千枚岩、變質結礫岩、石英岩、和與鐵英岩十分類似  
的含鐵石英岩。

該地區的構造史包括五個構造時間，分為幾個主要變形階段。前三個階段與跨亞馬遜造山運動或米納斯造山運動有關（Endo等人，2004），編號為E1。這些階段形成了Minas超群顯著的變形構造。E1的主要特徵為與岩層平行的片理S1，以及與第一道片理斜交的第二道片理，表示褶皺軸面形成與兩個連續的變形事件D1和D2。D1階段導致區域級伏臥褶皺(F1)的產生，搬運至基底脫頂面（Curral Nappe）。D1階段還導致地層倒轉，使Cauê組位於Sabará群之上。

D2階段的特徵為F1褶皺的共軸再褶皺事件(F2)。疊加在Minas超群之上的第三個變形階段，表現為東西向膝折狀條帶。

在前三個變形階段之後，由南北走向大角度正斷層的連續成核作用所構成了與造山塌陷有關的構造(E2)。在造山構造之後，鎂鐵質侵入體出現(E3)。巴西事件(E4)導致條帶狀和南北向在西部交匯的成核劈理(D4)。D5階段與E5事件有關，導致了一系列東西向和南北向地壘，隨後第三系沉積物沉積在這些地壘中。

## 8.2 資源模型

João Pereira礦床和Segredo礦床的資源模型之前由Pincock在2005年進行了審計。新進行的鑽探工程為Segredo模型和João Pereira模型分別增加了126個和106個鑽孔。Vale通過加入2004年至2007年期間進行的鑽探工程所獲得的新數據，對模型進行了更新（Segredo礦床4236份樣本，João Pereira礦床6593份樣本）。Segredo礦床模型包括已有的礦區以及將納入Segredo礦最終境界的鄰近10號地區。

本報告第3節介紹了Vale對兩個礦床的建模步驟，概述如下：

- 生成原數據和組合的單變量統計、柱狀圖、箱線圖和地質接觸分析。Pincock對數據文件和單變量統計進行了一些交叉檢驗，沒發現明顯錯誤。呈交給Pincock的數據合格。
- 確定密度（採用校準填沙坑、對緻密礦物採用水浸法以及挖井法）。Vale對該等礦床的密度建模工作質量較高。
- 化驗成分（Segredo礦床採用10米組合，João Pereira礦床採用13米組合）。10米和13米組合長度是根據實際開採台階高度確定的。提供一組具有相等有效性的樣本進行化驗，所以隨後的定性化驗過程沒有偏差。Vale為兩個礦床生成了一系列成分統計，為所有變量以及不同粒度組分進行描點。Pincock用原數據對兩個礦床的組合進行了檢驗。Pincock生成的數據與Vale的組合的數據吻合。差異很小。不是所有的組合長度都為10米或13米，大約30%的組合長度小於10米或13米。一些組合長度小於2米。採用短組合長度的理由是之前所介紹的Vale組合原數據的方法。
- 變差（為所有化學變量和粒度組分生成相關圖）。Vale的地質師採用相關圖方法，對每個元素（Fe、Si、Al、P和Mn）和所有四個粒度組分（ $G1 = +6.3 \text{ mm}$ ,  $G2 = -6.3+0.5 \text{ mm}$ ,  $G3 = -0.5+0.106 \text{ mm}$ ,  $G4 = -0.106 \text{ mm}$ ）都進行了深入的變差分析。由於每個區域中缺乏足夠的樣本對，所以對在從所有區域獲得的所有組合進行了變差分析。在不同水平方向和沿鑽孔方向上生成相關圖。Vale的地質師通常生成一個三維變差函數，表現元素的全局值以及所有粒度組分。這樣做是因為同種元素在不同粒度組分中顯示出顯著的相似性。在鑽孔方向（垂直）相關圖中發現了塊金效應。Pincock採用幾個變量的試驗數據，對一些符合三維模型的相關圖進行了檢驗。兩個模型整體上完成性非常好。
- 生成岩性塊體模型（Segredo礦床130個剖面圖，14個平面圖；João Pereira礦床60個剖面圖，37個平面圖）。Pincock對許多剖面圖和平面圖進行了隨機檢驗。一些地區鑽孔過淺，不足以進行地下地質解釋。Vale需要在隨後的地質解釋工作中加強構造方面的工作。表8-1中總結了兩個礦床中用於生成塊體模型的岩性區域。

表 8-1

**Vale**

南部體系礦山儲量審計

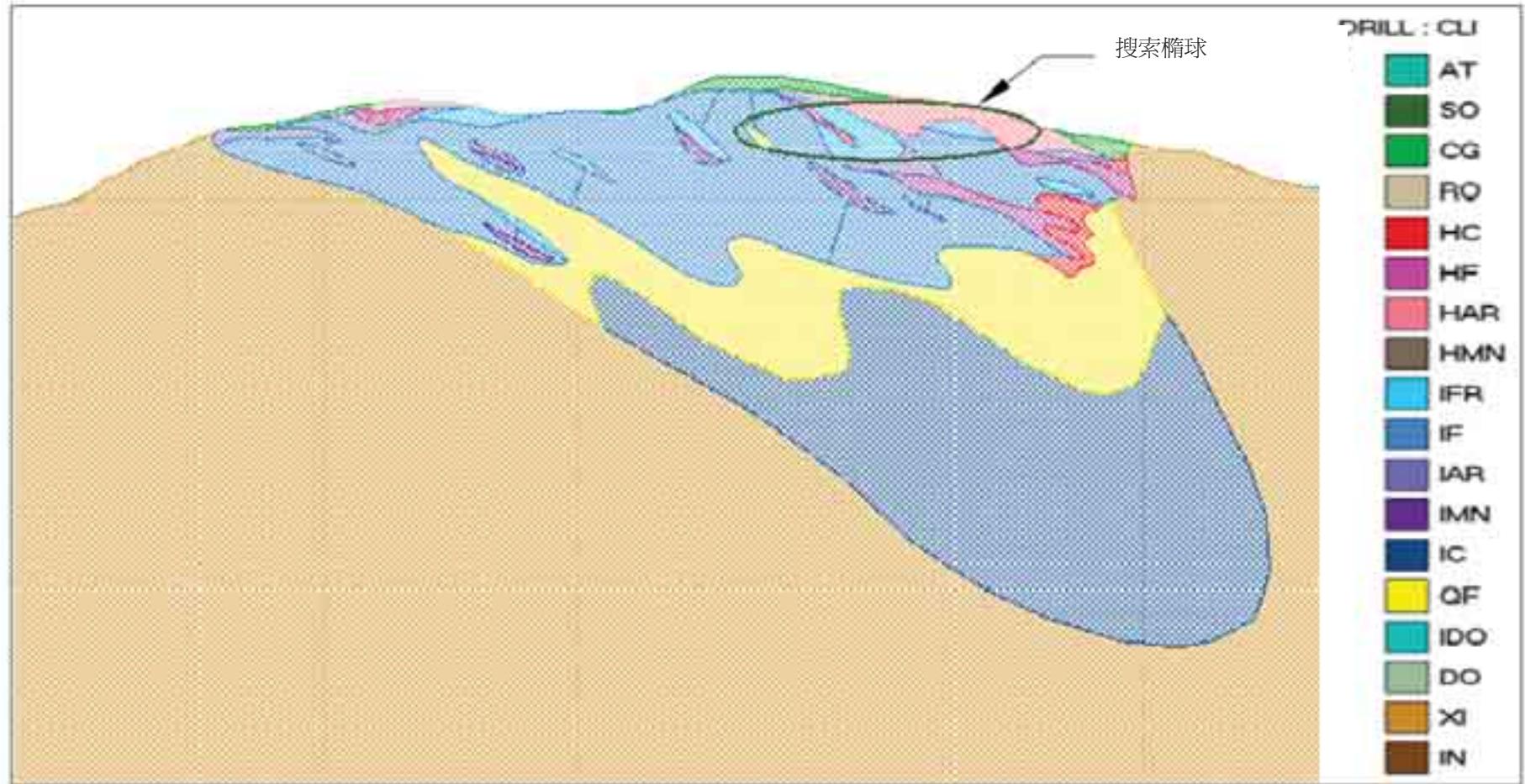
岩性區域- Fábrica礦區，Segredo礦床和João Pereira礦床

區域	代碼
硬赤鐵礦	HC
軟赤鐵礦	HF
含錳赤鐵礦	HMN
鐵泥赤鐵礦	HAR
高品位軟鐵英岩	IFR
白雲石化鐵英岩	IDO
軟鐵英岩	IF
硬鐵英岩	IC
含錳鐵英岩	IMN
鐵泥鐵英岩	IAR
碎屑狀鐵礦石	RO
	CG

- 塊體建模步驟包括生成線框和通過平面多邊形生成實體，估算變量並採用指示克里格法對含礦岩石進行岩性解釋（本報告第3節詳細介紹）。Pincock對模型進行了檢驗，在模型中尋找未定義塊體，但沒發現嚴重錯誤。這一步驟很重要，會直接影響最終的礦石資源量評估。
- 品位值插入—採用地質邊界通過普通克里格法估算塊體。João Pereira礦床和Segredo礦床對所有變量都採用沿主軸進行300-350米遍歷搜索，沿半主軸進行200-250米搜索，沿副軸進行30-40米搜索。João Pereira礦床和Segredo礦床模型的主軸方向分別為方位角45°和110°。卦限數最小為1，每卦限最多兩個樣本。圖8-2表示了João Pereira礦床搜索橢球的方向。
- 通過採用近鄰法，將地質代碼和塊體代碼，實體體積與塊體體積，組合值與塊體統計值，以及估計塊體模型平均值和去集簇組合統計值進行對比，驗證塊體模型。

資源量劃分為採用Vale的「膨脹腐蝕法」。Pincock在2005年的資源量和儲量審計中認可了這種方法。

Pincock採用近鄰法(NN)，對兩個模型的塊體模型組合和去集簇組合統計比較進行了檢驗。Pincock還通過圖形分析、檢驗克里格塊體的平滑度以及檢驗品位-順位曲線，對數據進行驗證。Pincock還對塊體模型估計值和化驗組合進行了有限基本統計比較檢驗。除了砂塊體模型估計值較高，大部分全局平均值一致性都較好。Pincock認為較高的雜質值太過保守。



Prepared by  
pincock, allen & holt  
105 S. Union Boulevard, Suite 900  
Lakewood, Colorado 80235  
Phone (303) 988-6700  
Project No.: 9508-B

圖片來源／使用者  
 VALE  
項目名稱  
南部體系

圖 8-2  
FABRICA 矿區 João Pereira 矿床搜索椭球的方向

發佈日期  
2009 年 3 月  
圖片名稱  
Fla.8-2.dwg

Vale繪製了克里格計算估計值與NN去集簇組合平均值的台階圖。這些圖表現出塊體平均值與去集簇的10米和13米組合數據的一致性。Pincock認為數據比較合格。塊體模型平均值一般表現出良好的一致性。數據偏離在3%範圍之內。兩種方法沒顯示出在任何區域對雜質和全局鐵品位的任何過高估計或過低估計。Pincock還發現全局平均值很接近，評估流程能很好地表現局部品位變化。Pincock確信大部分元素的體積和品位與目標品位—體積關係的整體一致性。

### 8.3 資源量報表

表8-2列出了經評審的João Pereira礦床和Segredo礦床的總資源量。資源量包括估計的赤鐵礦和鐵英岩礦石，其中鐵英岩礦石需要建設Vale所計劃的新選廠。Pincock認為根據美國證券交易委員會標準，Vale作為儲量評估基礎的資源量估計值可以用於公開披露。

表 8-2  
Vale

南部體系礦山儲量審計

Fábrica礦區所估計的測定和指示資源量<sup>(3) (4) (5)</sup>

截至2007年12月

礦權區 <sup>(1)</sup>	噸位 x1000 <sup>(2)(3)</sup> 鐵礦石	品位 Fe (%)	噸位 x1000 <sup>(2)(3)</sup> 鐵礦石	品位 Fe (%)				
<b>Fabrica礦區</b>								
<b>João Pereira</b>								
測定資源量	16,777	63.94	319,385	40.41				
指示資源量	28,124	64.54	624,931	37.95				
小計	<b>44,901</b>	<b>64.32</b>	<b>944,316</b>	<b>38.78</b>				
<b>Segredo</b>								
測定資源量	60,690	65.46	155,072	42.18				
指示資源量	62,777	65.82	490,182	39.70				
小計	<b>123,467</b>	<b>65.64</b>	<b>645,254</b>	<b>40.30</b>				
<b>總測定和指示資源量</b>	<b>168,368</b>	<b>65.29</b>	<b>1,589,570</b>	<b>39.40</b>				
<b>推斷資源量</b>								
João Pereira	15,726	65.30	919,319	36.26				
Segredo	22,089	65.66	982,811	38.39				
<b>總推斷資源量</b>	<b>37,815</b>	<b>65.51</b>	<b>1,902,130</b>	<b>37.36</b>				

註：

1) 除非有特別說明，Vale在以上礦山所佔股權為100%。

2) 噸位以原礦濕公噸計。

3) 估計資源量包括儲量。

4) 截至2007年12月31日的估計資源量。

5) 估計資源量由Vale完成，由Pincock Allen & Holt - Brasil公司編製。

## 8.4 開採情況審查

### 8.4.1 總體情況

Pincock工程師在2008年12月對Vale的Fábrica礦區礦山及加工設施進行了實地調查。圖8-3至8-5表示了礦山的位置和佈局。2008年原礦生產數據如下（百萬噸計）。

礦山	2008礦石產量	
	原礦 (百萬噸)	
Segredo	5.8	
João Periera	21.7	
<b>Fábrica礦區總計</b>	<b>27.5</b>	

Fábrica礦區中的礦山都為大型露天礦。鐵礦床的地質情況影響開採情況，通過開採鐵建造的出露部分開採下部礦體。在Fábrica礦區的礦山中，開採延條帶狀鐵建造的狹長走向展開，目前礦山比較淺，沿走向在幾個較平坦較小的露天採場的開採深度會加深。

Fábrica用大型礦山設備搬運礦物，表8-3列出了所用的開採設備。採用電鏟和礦車進行較大規模的廢石剝離和一些鐵英岩台階的開採，採用挖掘機和較小的礦車開採尺寸較小的赤鐵礦台階。表8-3簡要列出了Vale向Pincock呈交的詳細設備列表。進行開採工程的開採設備數量可能會隨露天坑和周圍設施需要的變化而產生波動。Pincock認為設備數量、設備維護水平以及Vale更換擴充設備的能力，足以保證設計原礦產量。

表 8-3

Vale

南部體系礦山儲量審計

Fábrica礦區設備概覽

設備	規格/尺寸	數量
砲孔鑽機	4 $\frac{5}{16}$ " 至 6 $\frac{1}{2}$ "	1
電鏟	17 - 24立方碼	4
輪式裝載機	15 - 22立方碼	5
挖掘機	5 - 6立方碼	5
輪式裝載機	5 - 8立方碼	18
礦車	140 - 150噸	18
礦車	40噸	55
推土機		12
平地機		5



Prepared by  
pincock, allen & holt  
105 S. Union Boulevard, Suite 100  
Lakewood, Colorado 80228  
Phone (303) 865-6360

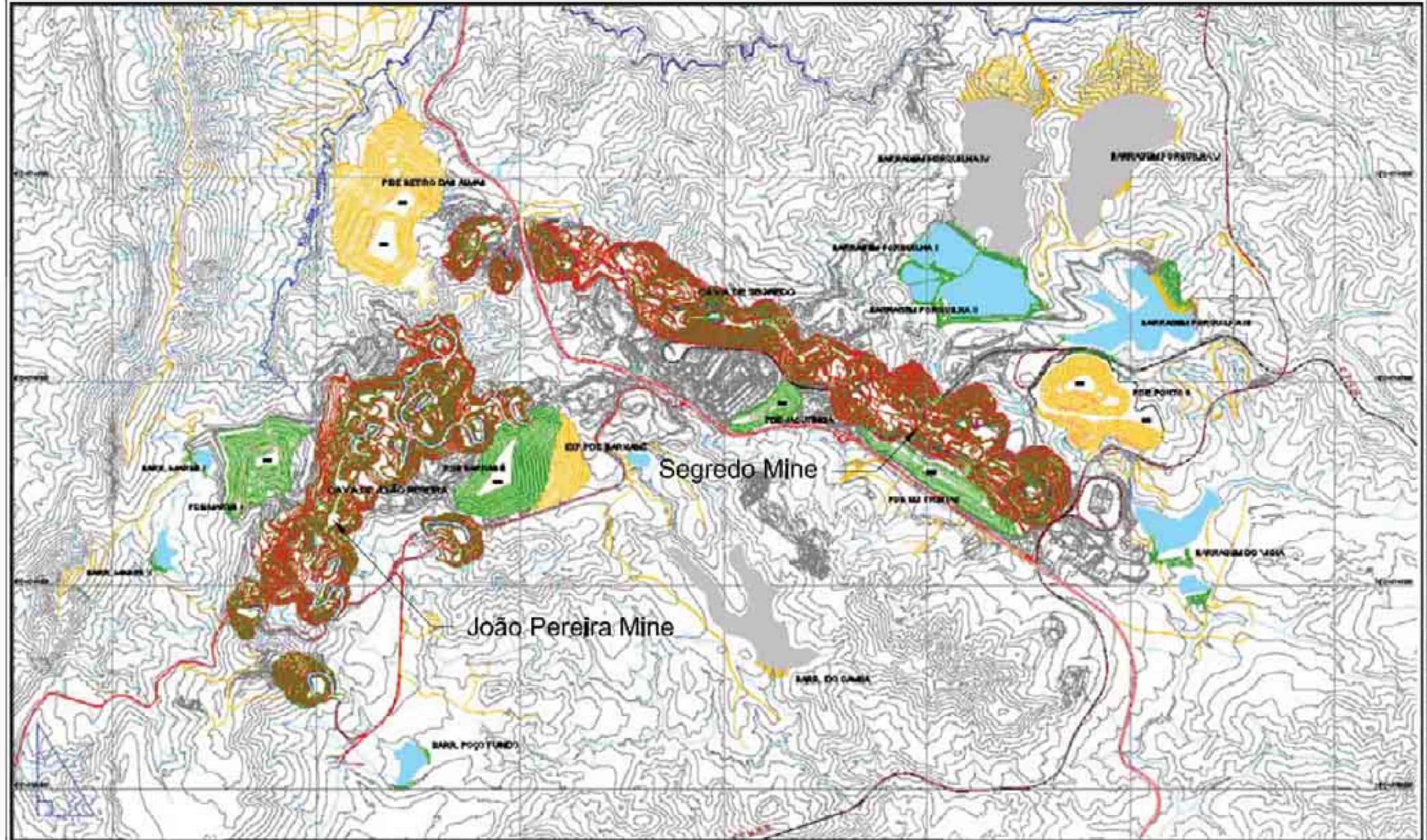
Project No.  
9508 B

圖片來源／使用者  
 VALE  
項目名稱  
南部體系

圖 8-3  
分佈地區地圖

發佈日期  
2009 年 3 月

圖片名稱  
Fla.8-3.dwg



Prepared by  
pincock, allen & holt  
105 S. Union Boulevard, Suite 300  
Lakewood, Colorado 80228  
Phone (303) 960-0000  
Project No. 8508-B

圖片來源／使用者

圖 8-4  
JOAO PEREIRA 及 SEGREDO 礦區的佈局

發佈日期  
2009年3月

圖片名稱  
Fla.8-4dwa



Prepared by  
**placoch, allen & holt**  
809 S. Urban Boulevard, Suite 600  
Littleton, Colorado 80120  
Phone (303) 985-6000  
Project No. 5006 B

圖片來源／使用者  
 VALE  
項目名稱  
南部體系

圖 8-5  
鳥瞰圖

發佈日期  
2009 年 3 月  
圖片名稱  
Fla.8-5.dwg

由於礦石的脆性，只有少數情況才需鑽孔爆破。僅當露天坑邊緣出現緻密磁鐵礦和緻密鐵英岩時，才需要進行爆破，以便於開採並在運出礦坑之前讓原礦形成較小塊度。緻密鐵英岩現在被視為礦石，但是被堆存直至2013年Fábrica礦區首座1,000萬噸鐵英岩選廠投產。計劃於2016年對鐵英岩選廠進行擴建，將增加1,000萬噸容量。目前Vale編製的儲量報表承認鐵英岩礦石。

礦石被運至目前Fábrica礦區中部的年產量1,600萬噸處理赤鐵礦軟鐵英岩和高品位鐵角礫岩的選廠。運輸路程較長但是上坡路較少。

Pincock審查了Vale設計工程師為南部體系所有礦山設計的運輸方法，包括Fábrica礦區的兩座礦山。運輸佈局根據年度露天坑設計，以及工作表現和設備生產記錄數據庫中的操作和運輸時間制定。Pincock認為這項工作完成得很好，能準確用於制定設備調度計劃。根據特定機械或某組機械的工作小時，安排以適當時間間隔更換礦山中設備。雖然更換設備會改善未來的生產情況，但在一些礦山中，設備未及時更換。用於設備更換的預算計劃比較充裕。對於Vale所面臨的開採狀況、員工薪資、以及單位材料價格，其開採運營成本比較合理。

#### 8.4.2 矿山設計

Pincock審查並評估了Vale所採用的露天坑開拓方法，以及給地質和開採塊體模型中所含礦物指定經濟性指標的方法，發現這些方法能滿足工程經濟實際需要。通過之前給礦體建立的資源模型，進行露天坑優化和邊界品位分析。目前識別的礦石類型包括：

1. 赤鐵礦，典型鐵品位高於64%；
2. 軟鐵英岩，鐵含量高於48%，對磷和錳含量上限有要求；
3. 高品位鐵角礫岩，鐵含量高於55%。

Fábrica礦區的露天坑，設計將穿過赤鐵礦範圍，到達適合開採的鐵英岩直至所設計的最終開採境界。適合開採的鐵英岩目前被堆存，在2014年當只處理鐵英岩的鐵英岩擴建項目（2號選廠）投產後，將對其進行選礦。屆時1號選廠（現有選廠）將只處理赤鐵礦，品位和回收率分別將從目前的55%和63%提升至63%和75%。

根據岩性（岩石類型）、原岩鐵含量、以及其他質量參數，為資源模型的每個塊體指定了預期銷售產品。自然球團礦(NPO)需要簡單破碎和篩分，較細粒度的燒結料產品(SF)通過簡單重力方法或磁選進行分選。最細粒度的球團料(PF)通常通過浮選方法獲得。因此，根據礦石被送往哪個備礦廠和哪種最終銷售產品，礦石選礦成本會有不同。在礦山設計階段就確定了產品回收率以及每種產品的鐵品位。

塊體劃分也會影響開採成本，最明顯的就是將原礦運至其傾倒位置所產生的運輸成本。工程部門估計了運輸距離、礦車載荷、礦車運行週期等因素，分別估算了礦石運輸和廢石運輸的運營成本，並估算出穿孔爆破、鏟裝、道路維護、雜項和管理成本等其他相關的開採成本。此外，所有下游成本也被囊括進塊體成本模型，包括成品礦的鐵路裝車成本、運至港口的鐵路運輸成本、港口作業和裝船作業成本、以及一部分雜項和管理成本。

目前模型所採用的運營成本摘自2008年的實際成本數據。其中直接運營成本還包括用於開採的設備更換資金，以及在未來維持現有開採規模（不擴大規模）所需的額外支出。表8-4列出了各個礦山2008年 downstream 成本和資金分派情況。成本和產品售價都較2007年有所增加，比匯率變化幅度更大。

**表 8-4**

**Vale**

**南部體系礦山儲量審計**

**2008單位運營成本和產品售價**

運營成本構成	美元／噸 產品
礦山	\$3.77
1號選廠 (鐵英岩和赤鐵礦)	\$2.01
2號選廠 (鐵英岩)	\$7.20
雜項和管理費用	\$2.02
鐵路運輸MRS	\$9.00
鐵路運輸EFVM	\$2.54
Sepetiba港	\$7.41
Tubarão港	\$0.88
3年平均產品價格	美元／噸 產品
塊礦 - 外部市場	\$86.42
燒結料 - 外部市場	\$53.60
球團料 - 外部市場	\$49.85

**Vale**並無為其南部體系鐵礦計算和應用典型邊界品位。某些在產礦山中沒有在礦床中發現鐵品位的漸變趨勢，而在其他礦山中品位受地質礦物類型影響，而呈現出較大的漸變趨勢。因此，**Vale**為赤鐵礦和鐵英岩礦石類型之間設定了主要邊界。此外還有一套合適的分級體系，例如儘管根據嚴格邊界品位分析某些堅硬礦物可以進行開採、選礦並可獲利銷售，但目前不會對其進行開採選礦。

對資源模型中的每個塊體進行了收益計算，包括塊體噸位，所含礦石的預期收入（按各產品計算），NPO、SF或PF的回收量，以及所獲不同產品的單位售價（以美元／噸度表示）。將收入扣減所有之前所列成本，得到每個礦塊的淨價值。採用嵌套方法和Lerchs-Grossman算法對最終開採境界進行優化，並進行檢驗以確定開採境界中是否包括較多的推斷資源量，剝採比是否過大，以及露天坑的物理邊界是否越過DNPM礦權區的邊界或侵入需要保護的已有基礎設施。露天坑優化工作採用了礦塊開採時淨現值的概念，所以後續開採會最大程度提高運營現金流。

設計好露天坑最終境界，並制定好包括每年搬運礦物量的開採計劃，為未來總生產產品量作出預測。以固定匯率美元為單位制定價格和相關成本，所得稅率為34%。根據**Vale**的加權平均資金成本，稅後現金流的標準折現率為12%。同時還計算內部回報率，因此南部體系每個礦山的經濟性指標便於審查和比較。

一旦確定了最終開採境界，將以較短時間（通常為8-10年）開採露天坑，並制定所有岩石類型原礦的生產進度安排。隨後將由相應的流程工程師進行審查，如果需要還將重複進行這一工作。

### 8.4.3 矿山壽命設計

表8-5總結了用於Fábrica礦區數據儲量經濟性論證的原礦和產量數據。達到最終開採境界的年度計劃，是根據設計到2015年的生產計劃，之後根據「數學」採場直至礦山壽命結束。圖8-6和8-7分別表示Segredo礦床和João Pereira礦床的最終開採境界。Pincock公司認為Vale採用了合理的方法設計採場，因而採場開採壽命在未來將顯著延長。當然，進行修改的生產數據取決於未來市場、額外的礦區鑽探工程以及公司可用資金情況。

此外，由於縮短運距的好處，以及缺乏礦山整個開採壽命中所需排土場土地，需要設計將一些廢石填入原有的採場。Fábrica礦區壽命設計中重要策略和關鍵步驟包括：

表 8-5

Vale

南部體系礦山儲量審計

Fábrica礦區進度安排和產量，全壽命生產計劃

		產量 (百萬噸)											
		總計	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	至2020	至2030	至2040
<b>Segredo</b>													
原礦 -> 1號選廠 - 實際		104.3	5.8	5.1	6.6	6.7	14.1	8.2	8.3	7.8	39.2	1.0	1.4
原礦 -> 2號選廠 - 鐵英岩選廠		170.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	8.8	3.9	19.5	57.6	73.6
鐵英岩 -> 礦堆		22.5	0.0	2.8	2.1	2.0	4.0	1.8	1.7	1.4	6.8	0.0	0.0
廢石		258.7	6.6	5.4	2.1	4.1	24.0	13.8	13.1	10.6	52.8	55.0	71.0
總開採搬運量		555.9	12.5	13.3	10.7	12.9	42.1	30.9	31.9	23.7	118.4	113.7	146.0
其他搬運量 @5%		27.8	0.6	0.7	0.5	0.6	2.1	1.5	1.6	1.2	5.9	5.7	7.3
總開採和其他搬運量		583.7	13.1	14.0	11.3	13.5	44.2	32.4	33.5	24.9	124.3	119.4	153.3
<b>João Periera</b>													
原礦 -> 1號選廠 - 實際		61.9	10.0	10.6	9.3	10.0	4.6	3.1	1.7	1.5	7.7	2.8	0.5
原礦 -> 2號選廠 - 鐵英岩選廠		477.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.1	18.8	22.1	110.3	186.4	121.9
鐵英岩 -> 礦堆		45.2	11.7	8.1	11.6	7.0	6.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
廢石		210.1	6.8	5.3	3.7	4.4	3.3	10.6	11.4	11.5	57.3	43.8	52.1
總開採搬運量		794.8	28.5	23.9	24.5	21.4	14.8	31.8	31.9	35.1	175.4	233.0	174.5
其他搬運量 @5%		39.7	1.4	1.2	1.2	1.1	0.7	1.6	1.6	1.8	8.8	11.7	8.7
總開採和其他搬運量		834.5	29.9	25.1	25.7	22.5	15.5	33.4	33.5	36.8	184.1	244.7	183.2
<b>TOTAL FABRICA</b>													
原礦 -> 1號選廠 - 實際		166.2	15.8	15.6	15.9	16.8	18.7	11.4	10.0	9.4	46.9	3.8	1.9
原礦 -> 2號選廠 - 鐵英岩選廠		648.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.1	27.6	26.0	129.8	244.1	195.5
鐵英岩 -> 礦堆		67.7	11.7	10.9	13.6	9.0	10.8	1.8	1.7	1.4	6.8	0.0	0.0
廢石		468.8	13.4	10.7	5.7	8.6	27.3	24.4	24.5	22.0	110.2	98.8	123.1
總開採搬運量		1350.7	41.0	37.2	35.2	34.3	56.9	62.7	63.7	58.7	293.7	346.7	320.5
其他搬運量 @5%		67.5	2.0	1.9	1.8	1.7	2.8	3.1	3.2	2.9	14.7	17.3	16.0
總開採和其他搬運量		1418.2	43.0	39.1	37.0	36.0	59.7	65.8	66.9	61.7	308.4	364.0	336.5
堆場 -> VGR鐵英岩選廠		67.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.2	50.5
總開採和其他搬運量和堆場 -> 選廠搬運量		1485.9	43.0	39.1	37.0	36.0	59.7	65.8	66.9	61.7	308.4	381.2	387.0
總開採和其他搬運量		1418.2	43.0	39.1	37.0	36.0	59.7	65.8	66.9	61.7	308.4	364.0	336.5
FÁBRICA礦區1號選廠生產(赤鐵礦)	Fe品位												
LO	14%	12.2	1.5	1.5	1.5	1.6	1.8	0.5	0.5	0.6	2.8	0.0	0.0
HM	4%	5.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.3	0.3	0.4	1.9	0.0	0.0
CSF		0.0									0.0	0.0	0.0
SF	52%	64.5	5.7	5.6	5.7	6.0	6.7	3.9	3.6	3.6	18.0	3.8	1.9
PFF	30%	39.1	3.3	3.3	3.3	3.5	3.9	3.5	2.9	2.6	12.8	0.0	0.0
總計		121.1	10.9	10.8	10.9	11.6	12.9	8.3	7.4	7.1	35.5	3.8	1.9
FÁBRICA礦區2號選廠生產(鐵英岩)	PFF	288.3	0.0					10.9	11.4	11.5	57.4	102.0	95.2
總計		288.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.9	11.4	11.5	57.4	102.0	95.2
產品總結													
塊礦		17.5	1.9	1.9	1.9	2.0	2.3	0.8	0.8	0.9	4.7	0.0	0.0
燒結粉礦		64.5	5.7	5.6	5.7	6.0	6.7	3.9	3.6	3.6	18.0	3.8	1.9
球團粉礦		327.4	3.3	3.3	3.3	3.5	3.9	14.4	14.3	14.0	70.2	102.0	95.2
總計		409.4	10.9	10.8	10.9	11.6	12.9	19.2	18.8	18.6	92.9	105.8	97.1

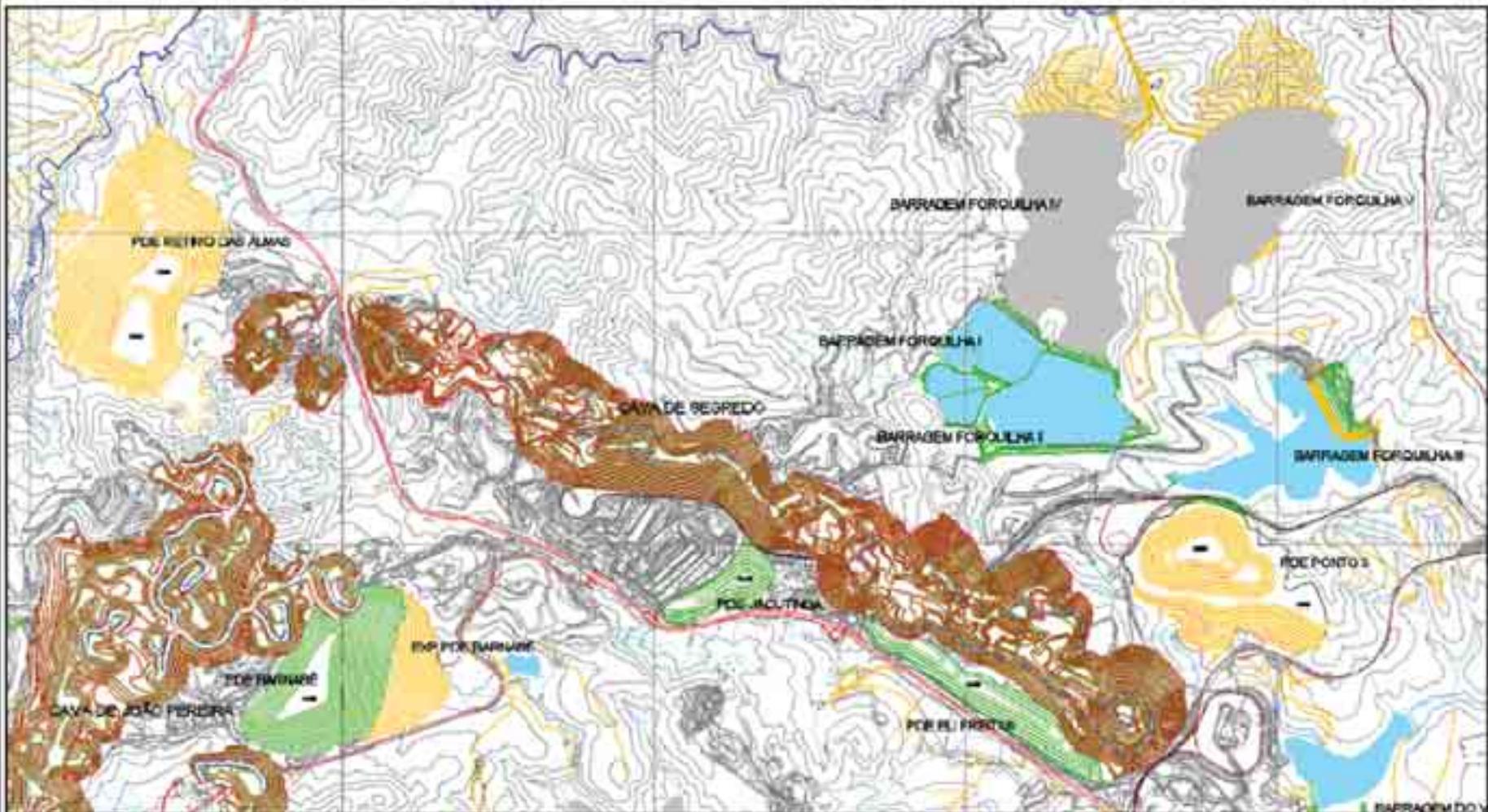


圖 8-6  
SEGREDO 最終開採境界

Prepared by  
**pincock, allen & hotz**  
 165 S. Union Boulevard, Suite 100  
 Lakewood, Colorado 80228  
 Phone (303) 985-6990  
 Project No. 9508 #

圖片來源／使用者



項目名稱  
南部體系

發佈日期  
2009 年 3 月

圖片名稱  
Fla.8-6wa



Prepared by  
**pincock, allen & holt**  
 102 S. Union Boulevard, Suite 100  
 Lakewood, Colorado 80228  
 Phone (303) 565-6000  
 Project No. 9508 B

圖片來源／使用者



項目名稱

南部體系

圖 8-7  
 JOAO PEREIRA 最終開採境界

發佈日期  
 2009 年 3 月

圖片名稱  
 Fla.8-7dwa

- 移動目前位於**Segredo**礦赤鐵礦礦體之上的鐵路系統。會在開採這部分之前進行相應的設計，並建成鐵路支線和卸載點。但是在鐵路附近開採時，需要特別注意將送至現有選廠原礦的質量混入現象。
- 當鐵路支線移走時，由於**João Pereira**礦高品位礦石（赤鐵礦）產量降低，選廠需要**Segredo**礦提高產量以保證品位。
- 2號選廠（鐵英岩選廠）將於2014年投產，屆時1號選廠只處理赤鐵礦，所有鐵英岩（脆性和緻密）進入2號選廠。
- **João Pereira**礦的赤鐵礦會在2020年開採完畢
- **Segredo**礦體系內的排水問題較嚴重，保持礦石品位較高需要在採場內進行排水管理。已經對湧水情況進行建模，已知含水層情況，預計可能發生的湧水可以控制。
- **Segredo**主要問題是礦能否按設計開採計劃保持礦石品位。

## 8.5 根據實際生產調整模型

**Pincock**獲得了調整2007年長期模型所需的粗略數據。這是決定模型完整性和礦山生產情況的重要因素。所提供的2007年數據為進行中工作的一部分。還沒得出結論因此未在本文呈報。**Pincock**之前審閱過**Vale**的2004年模型調整，結果合格。

2008年12月，**Pincock**完成了對**Vale**對2007年生產所進行調整的審閱，該調整根據當時所採用的資源模型，對2006年公佈儲量進行了扣減，獲得2007年12月的儲量報表。

對於**Fábrica**礦區的礦山，**Pincock**找到了估計礦石噸位和實際礦石噸位之間比較合適的近似關係。廢石調整的變化性較大，礦山設計的廢石噸位比實際生產記錄的廢石噸位更大。

**Vale**的2008年礦山生產設計調整正在進行中，將長期塊體模型與短期礦山設計與**Modular Dispatch**軟件所記錄的原礦噸位相比較。**Pincock**建議根據生產品位、岩性類型和質量對生產模型進行調整。當鐵英岩選廠投產之後，由於處理不同種類礦石，所以這些因素將變得更加重要。

## 8.6 儲量

表8-6列出了Vale所估計的Fábrica礦區儲量。這些儲量為2007年12月31日數據，而未包括2008年淨產量。在年終測量完成時，2007年12月儲量將扣減掉2008年產量。

如表8-7所示，2007至2008年Fábrica礦區礦石儲量增加了4.3億噸。增加量的大部分是由於Vale計劃建設鐵英岩選廠，可處理之前大部分當作廢石處理的鐵英岩。Pincock公司注意到Vale忽略了已有排土場中的鐵英岩礦物，在2014年2號選廠投產之後，技術和經濟上將有可能對這些礦物進行處理。

表 8-7

Vale

南部體系礦山儲量審計

2007至2008年Fábrica礦區儲量變化

	2007		2008		2008和2007年間變化	
	Mt	Fe%	Mt	Fe%	Mt	Fe%
<b>João Pereira</b>						
赤鐵礦	27.0	65.9%	36.3	62.9%	+ 9.3	-3.0%
鐵英岩	331.0	46.7%	548.5	41.0%	+ 217.5	-5.7%
<b>總礦石量</b>	<b>358.0</b>	<b>48.1%</b>	<b>584.8</b>	<b>42.3%</b>	<b>+ 226.8</b>	<b>-5.8%</b>
廢石	293.0		210.2		-82.8	
João Pereira礦總版運量	651.0		795.0		+ 144.0	
<b>Segredo</b>						
赤鐵礦	39.0	65.4%	108.3	60.8%	+ 69.3	-4.6%
鐵英岩	69.0	52.1%	203.3	45.1%	+ 134.3	-7.0%
<b>總礦石量</b>	<b>108.0</b>	<b>56.9%</b>	<b>311.6</b>	<b>50.6%</b>	<b>+ 203.6</b>	<b>-6.3%</b>
廢石	156.0		240.0		+ 84.0	
Segredo礦總版運量	264.0		551.6		+ 287.6	
<b>FABRICA MINE</b>						
赤鐵礦	66.0	65.6%	144.7	61.4%	+ 78.7	-4.2%
鐵英岩	400.0	47.6%	751.7	41.9%	+ 351.7	-5.7%
<b>FABRICA礦區總礦石量</b>	<b>466.0</b>	<b>50.2%</b>	<b>896.4</b>	<b>45.0%</b>	<b>+ 430.4</b>	<b>-5.1%</b>
廢石	449.0		450.2		+ 1.2	
Fábrica礦區總版運量	915.0		1,346.6		+ 431.6	

註:

「2008年儲量」為截至2007年12月估計儲量，其中考慮了Pincock於本項目進行審計的新資源模型和礦山設計所增加的儲量，但未考慮2008年生產耗減。「2007年儲量」為截至2006年12月儲量減去2007年實際產量，Pincock在2008年初進行了審閱，根據由AMEC於2007年審計的原資源模型和礦山設計。

表 8-6

Vale

南部體系礦山儲量審計

Fábrica礦區儲量總結

João Pereira	證實儲量		估計儲量		總儲量		原礦質量						
	Mt	Fe%	Mt	Fe%	Mt	Fe%	Si%	Al%	P%	Mn%	LOI%		
赤鐵礦 <sup>(a)</sup>	18.1	63.8%	18.3	62.0%	36.3	62.9%	4.13%	2.31%	0.08%	0.11%	3.23%		
鐵英岩	253.7	41.7%	294.8	40.4%	548.5	41.0%	38.6%	0.80%	0.04%	0.13%	1.54%		
<b>總礦石量</b>	<b>271.8</b>	<b>43.1%</b>	<b>313.0</b>	<b>41.6%</b>	<b>584.8</b>	<b>42.3%</b>							
廢石					210.2								
João Periera礦總搬運量					795.0								
<hr/>													
Segredo													
赤鐵礦 <sup>(a)</sup>	58.5	63.4%	49.8	57.8%	108.3	60.8%	4.83%	3.69%	0.06%	0.84%	2.81%		
鐵英岩	89.8	44.9%	113.5	44.0%	203.3	45.1%	29.0%	1.57%	1.90%	1.22%	2.30%		
<b>總礦石量</b>	<b>148.3</b>	<b>52.2%</b>	<b>163.3</b>	<b>48.2%</b>	<b>311.6</b>	<b>50.6%</b>							
廢石					832.8								
Segredo礦總搬運量					1,456.0								
<hr/>													
Fábrica Complex													
赤鐵礦 <sup>(a)</sup>	76.6	63.5%	68.1	58.9%	144.7	61.4%	4.62%	3.32%	0.06%	0.66%	2.90%		
鐵英岩	343.5	42.5%	408.3	41.4%	751.7	41.9%	36.3%	1.13%	0.05%	0.46%	1.75%		
<b>Fábrica礦區總礦石量</b>	<b>420.0</b>	<b>46.3%</b>	<b>476.4</b>	<b>43.9%</b>	<b>896.4</b>	<b>45.0%</b>							
廢石					1,043.0								
<b>Fábrica礦區總搬運量</b>					2,251.0								

(a) 赤鐵礦儲量包括赤鐵礦加上鐵角礫岩和rolado礦石

## 8.7 選礦

### 8.7.1 總體情況

礦區的選廠目前處理赤鐵礦以及一部分來自João Pereira礦和Segredo礦的高品位鐵英岩。選廠目前生產塊礦、hematitinha塊礦、燒結料和球團料。一些球團料用來供應位於Fábrica礦區的球團廠。Vale報告稱目前選廠有足夠的赤鐵礦可與高品位鐵英岩配礦生產直至2020年。2008年預計將處理1,820萬噸礦石，生產出1,230萬噸成品礦，整體回收率為67.5%。2009年產量預計將增至1,250萬噸，2010年產量將增至1,450萬噸。增加的200萬噸產量來自投資方案增建的一座小型乾選廠。2014年，由於第一座1,000萬噸低品位鐵英岩選廠投產(1a ITM I Fábrica)，產量預計將達2,450萬噸。在Vale的長期計劃中，另外一座1,000萬噸鐵英岩選廠(2a ITM I Fábrica)將在2016年投產。

下面幾節對已有選廠和設計建設的鐵英岩選廠進行評審。

### 8.7.2 Fábrica礦區已有的選廠流程和成本

該流程為南部體系礦山的典型流程。有初級、次級、三級乾磨乾篩，生產塊礦、hematitinha塊礦和燒結料產品。前兩級為開路迴路，第三級為閉路迴路。將粉礦和上述乾選步驟的篩下產物進行濕選，進一步進行篩分、分級、高強度磁選和重力分選，生產更多燒結料和球團料。在濃密機中將球團料脫水，進入球磨機重新研磨並進行過濾。對精粉進行再研磨不是為了分離礦粒，而是為了達到更細粒度燒製球團。再研磨濾餅運至球團廠燒製球團。圖8-8中描述了該選礦流程。

原礦平均鐵品位約為55.2%。表8-8列出了相對於原礦的典型產品比例和產品質量，但是每年數據會略有變化。

Fábrica選廠的原礦鐵品位比其他赤鐵礦選場品位更低，而且礦石礦物特性也更加難選。所以選礦流程比較複雜。將兩座礦山的原礦進行混合，對於保持選廠工作穩定高效運行非常重要。報告的鐵金屬回收率約為76%，比其他一些赤鐵礦選場回收率低，這可能是由於礦石礦物特性。

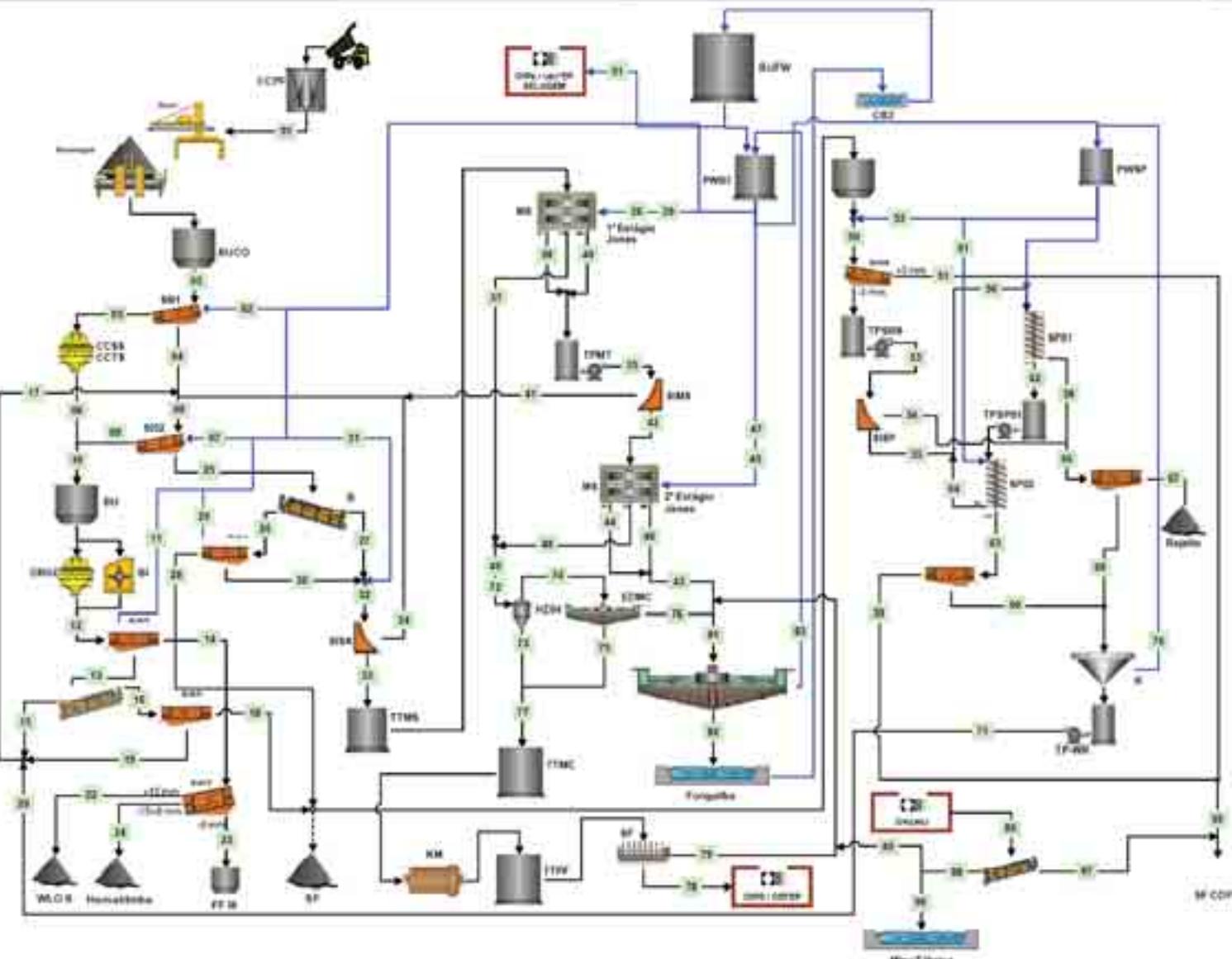


圖 8-8  
FABRICA 矿區選廠流程

表 8-8

Vale

南部體系礦山儲量審計

Fábrica礦區目前選廠產量

產品	比例	平均品位
原礦	100%	55.2% Fe
塊礦	3%	66.1% Fe
Hematitinha塊礦	2%	66.9% Fe
燒結料	28%	65.5% Fe
球團料	32%	68.2% Fe
尾礦	35%	38.4% Fe

Vale估計2008年Fábrica礦區每噸產品的選礦成本為4.02雷亞爾(2.01美元)，總生產成本為15.60雷亞爾(7.80美元)。2007年每噸產品的實際選礦成本為4.94雷亞爾(4.94美元)，總生產成本為17.52雷亞爾(8.76美元)。

Fábrica礦區選礦設施的選礦流程設計合理，適用於處理來自礦區兩座礦山的礦石。選廠和設備維護和使用情況比較好。由於需要緊密協調開採和選礦人員，以保證選廠原礦供應配比穩定，所以難選礦石和複雜的選礦流程可能會提高該選廠運營難度。

### 8.7.3 提議的鐵英岩選廠

#### 總體情況

為了在餘下的赤鐵礦開採週期中提高球團料產量，並能繼續開採低品位鐵英岩，Vale計劃在2014年建設並投產一座年產量1,000萬噸選廠，並在2016年投產第二座年產量1,000萬噸選廠。該選廠和相應的選礦流程與已有選廠有所區別，將只處理低品位鐵英岩，生產單一球團料。新選廠不處理高品位赤鐵礦。

該選廠將位於已有選廠和球團廠附近。該項目處於早期設計階段，所以很多細節不如Vargem Grande礦鐵英岩新選廠完善，而後者擬於2011年提前三年投產。但是Pincock認為已經進行了充分的研究和設計工作，初步選定了廠址並進行了設計，所以認為項目成本和經濟性比較可靠且比較準確。

Vale高級管理部門決定卡拉加斯地區的北部系統礦山將增加燒結料產量，減少球團料產量。這一決定意味著Vale必須在南部體系礦山增加球團料產量，以填補卡拉加斯球團料減產的缺口，保持市場份額。Fabrica礦區鐵英岩選廠是第二個生產球團料的新選廠，而Vargem Grande礦區鐵英岩選廠是第一個生產球團料的新選廠。選廠設計思想根據鐵英岩獨特的礦物特性，與Vargem Grande礦區的新鐵英岩選廠有些類似。兩座選廠都採用新技術，也選用了其他鐵英岩選廠所用的標準設備和做法。

選廠設計每年處理2500萬噸原礦，生產1000萬噸球團料。原礦鐵品位為41.1%，最終球團料鐵品位為66.5%。整體回收率為39.8%，鐵回收率為64.3%，為此類選廠中較低水平。鐵損失的大部分（約60%）在稀泥尾礦中，經化驗尾礦鐵品位43.5%，比進料原礦石鐵品位更高。

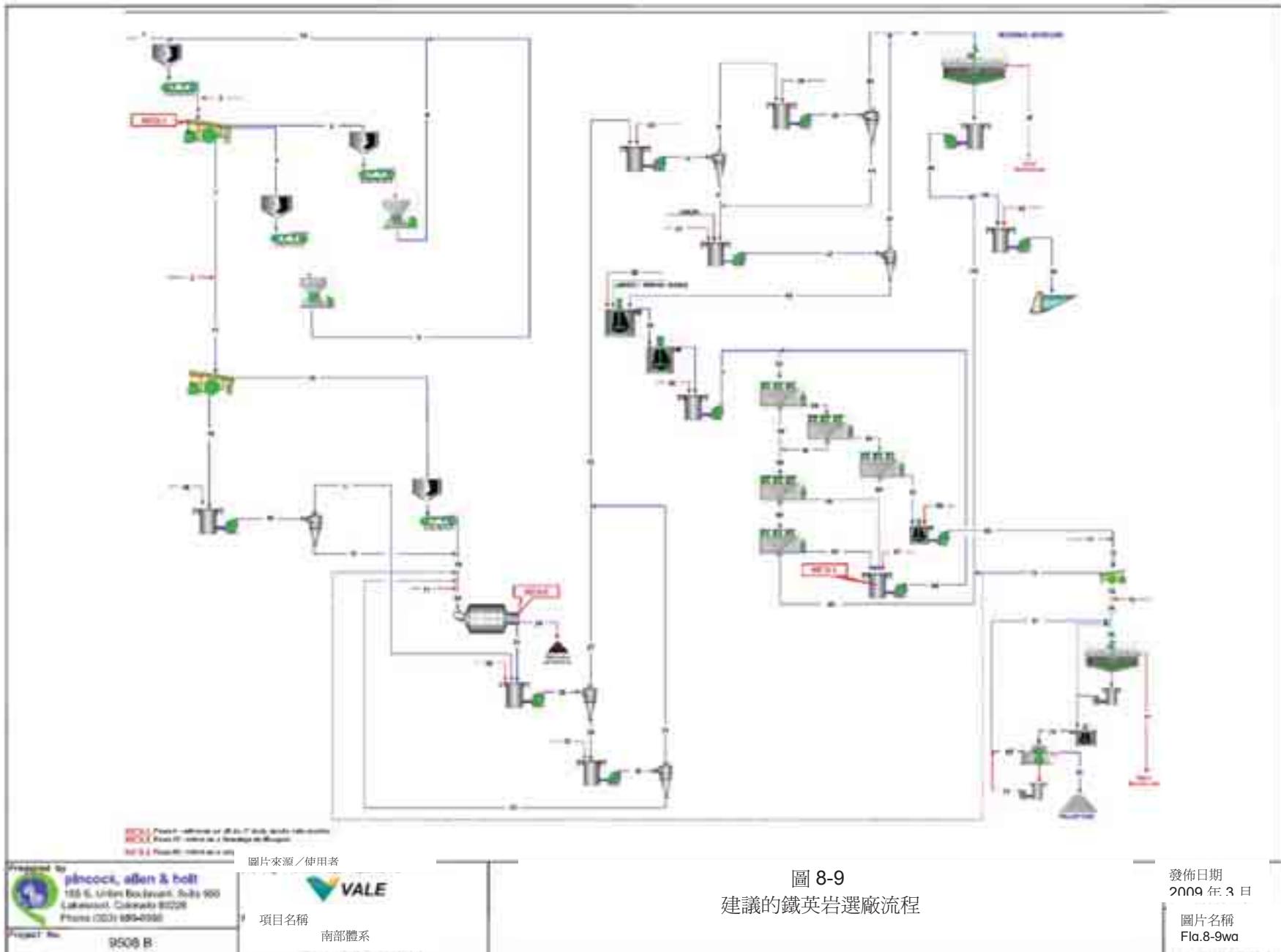
### **選廠和設備**

新選廠的選礦流程分為三個階段。第一階段包括一台單振動篩和初級破碎機，以開路迴路進行乾選。產品直接進入第一階段的第二步，次級篩分和破碎。四台振動篩和兩台圓錐破碎機以開路迴路進行乾選，生產50毫米粒度產品，送至均勻礦堆。該系統設計處理能力為4206tph。

第二階段將破碎礦石從均勻礦堆中取出，進入三級和四級乾篩乾磨。三級圓錐破碎機和六台震動篩以閉路循環運行。產品進入最後一集乾選，十台振動篩和五台圓錐破碎機以閉路循環運行，將產品篩選及破碎。假設將礦石破碎至12毫米粒度（0.5英寸）進入球磨機研磨，進行下一階段濕選。圖8-9表示了第三級濕選流程。

第三階段流程為全濕法選礦，這一階段將含鐵礦物與廢石礦物分離。所有濕選設備詳細情況尚不清楚。已知信息包括四台大型球磨機（18 ft x 29 ft）。球磨機在閉路迴路研磨細粒破碎產物，迴路中有一台雙水力旋流分級系統，底流返回球磨機進一步研磨。溢流進入三級水力旋流脫泥迴路，製備浮選原料。球磨迴路產生粒度約為0.105毫米（105微米或150目）的礦石細粉產物。

水力旋流脫泥迴路產生兩種產物：浮選原料和稀泥尾礦。脫泥系統產生的浮選原料通過兩個調節槽，期間添加浮選藥劑。浮選分為四步：粗選、掃選、精選和再精選，並回收中間產物。再精選精粉為最終精粉產品，次級掃選溢流為最終尾礦。浮選精粉經細篩然後進入常規濃密機濃密。濃密機底流經真空碟式過濾機脫水，濃密機溢流作為選礦用水進行回收。浮選尾礦和經濃密的稀泥尾礦一起排入尾礦庫。



浮選採用一些化學藥劑，加入浮選之前的調節槽中。加入苛性納（NaOH）控制pH，加入可溶澱粉壓下含鐵礦物，加入胺使含矽廢物浮起或將其去除。該流程成爲逆浮選，無用礦物浮起並去除，剩下純淨高品位鐵精粉。

#### **選廠資金成本和運營成本**

該項目預計將於2014年建成並達到全部產能，預計需要資金8.49億美元。每噸年產量的資金成本爲85美元，比Vale所有其他計劃選廠項目都高，但比其他一些鐵英岩選廠項目低。Vargem Grande鐵英岩選廠項目爲118美元／噸，Apolo選廠項目爲96美元／噸，Serra Sul和Carajas North非鐵英岩選廠項目分別爲55美元／噸和42美元／噸。PAH認爲就儲量審計而言，該預計資金成本比較現實。

礦區鐵英岩選廠每噸球團料的純選礦運營成本預計爲7.62美元／噸。與Vale預計更先進的Vargem Grande選廠單位運營成本8.05美元／噸相當接近。Fábrica選廠運營成本估計更多處於預可行性研究級別，而Vargem Grande選廠爲可行性研究級別成本估算。但是，PAH認爲該成本估算工作比較周密，且與其他類似的Vale選廠的成本接近，例如Feijão選廠爲9.01美元／噸。PAH估計Fábrica鐵英岩選廠的研磨、浮選和真空過濾成本約爲5.25美元／噸，或約佔選礦成本的65-70%。總之，雖然該項目還沒進入全面可行性研究級別，但PAH認爲該項目運營成本經周密估算和準備，對於確定未來處理鐵英岩經濟可行性而言具有較高準確性。

#### **8.7.4 討論**

PAH認爲Fábrica礦區用於處理低品位鐵英岩的選廠計劃比較現實，且根據合理可靠的技術和設備。由於近期多項擴建計劃和建設項目，Vale近期估計資金成本的經驗豐富。運營成本被認爲比較現實，與Vale其他類似選廠有可比性。預計球團料產品質量很高，在球團料市場上會有很強競爭力。

由於赤鐵礦選礦僅需很少量研磨和分選，所以鐵英岩選廠運營成本比赤鐵礦選廠高許多。所以，赤鐵礦選場的總體回收率爲鐵英岩選廠的兩倍，更大的產品數量降低了單位生產成本。但是，雖然選礦成本比Vale部分赤鐵礦選廠更高，但與世界其他鐵礦石選廠相比選礦成本依然較低。

PAH認為Vale應該對該項目中的一個方面進行改進，即預計鐵回收率過低僅為64%。PAH認為脫泥鐵損失量過高，Vale應當研究脫泥濃密機、控制礦漿化學成分等其他脫泥方法代替水力旋流。水力旋流脫泥過程較粗糙，不如濃密機脫泥選擇性強且細緻。脫泥損失大約佔尾礦損失的60%，佔原礦的20%以上。所以亟需研究、設計並採用一些其他可能的技術進行更有效的脫泥。

## 8.8 經濟可行性

Pincock評估了Vale的Fábrica礦區從2008年至礦山壽命結束預計的經濟可行性，作為儲量經濟性試驗。Fábrica礦區的兩個礦山按一個項目運營，一起跟蹤並匯報成本，一起進行經濟性分析。

2008年儲量審計中，對儲量壽命的完整經濟性進行了分析。在過去，根據前一年的運營成本和收入評估該礦區儲量。2008年儲量中包括了資金構成和投資所導致的鐵英岩儲量的顯著增加，這與儲量經濟性的項目壽命相適合。

由Vale工程師和分析師對Fábrica礦區進行經濟性分析，由Pincock在實地調查時進行審查。2008年儲量經濟性分析最初將鐵英岩項目看作單獨的項目，未考慮目前的赤鐵礦生產，兩個選廠現金流情況都較好。此處載列的第二次分析擴展至包括2009年及以後的所有材料，作為經濟性試驗。可以預計，第二次分析通過用目前運營收入抵消資金投入，對儲量的經濟性產生有利影響。所有成本根據下列匯率用美元表示：

2008:	1.80
2009:	1.75
2010和以後:	1.72

表8-9中列出每個礦區所編製的現金運營成本和特定分派成本。Vale會計部門跟蹤礦區中每個礦山的直接現金成本，並提供鐵路運輸、港口作業等下游活動的直接現金成本。

**表 8-9**  
**Vale**  
**南部體系儲量審計**  
**運營單位成本**

	美元／噸產品
礦山	\$3.77
選廠 ITM HM	\$2.01
選廠 ITM ITAB.	\$7.20
管理	\$2.02
鐵路運輸 (MRS)	\$9.00
鐵路運輸 (EFVM)	\$9.00
港口 CBPS	\$1.04
港口 Tubarão	\$1.04

此外，礦山管理支出和雜項開支也與產量成正比，還包括未來為保持目前生產水平所產生的設備更換費用。

Fábrica礦區2008年運營單位成本用於現金流分析，並在表8-9中以每噸產品成本列出。

鐵路和港口成本為這些活動的直接現金運營成本，而不是對外部客戶的交易價格。Pincock具有其他大型露天礦山資本成本部分的評估經驗，認為該礦區的資本成本在正常範圍內。其他投資費用包括在現金流分析的資本成本部分中。

產品銷售的單位價格是根據鐵噸度價格，鐵噸度是指每公噸產品的鐵含量百分數。提供給Pincock的礦石儲量經濟學測試中採用了每噸產品三年平均單位價格。儘管這樣簡化了現金流，但採用這種價格假設會由於品位波動而導致不準確。若經濟性僅為合格邊緣，則該假設將需要進一步分析。儘管Pincock建議經濟學分析應當根據實際合同價格框架（鐵噸度價格）並採用預計礦石品位，但Fábrica礦區的經濟經分析足夠健全，所以認為採用每噸價格的方法足以進行經濟可行性測試。Fábrica礦區在2006年、2007年和2008年的出口產品平均實現價格為（美元）：

塊礦	86.40 美元／
噸 燒結料	53.60 美元／
噸球團料	49.90 美元／
噸	

PAH獨立審查了Vale公佈的在Tubarão港記錄的2008年月度價格，這些月度價格與公司公佈的年度單位價格相吻合。Vale還在國內市場以較低價格銷售了一部分產品，這種情況下客戶不支付鐵路和港口費用，Vale保證了大部分利潤。表8-10中總結了Fábrica礦區合理的礦山壽命信息。

**表 8-10**

**Vale**

**南部體系儲量審計**

**儲量經濟性礦山壽命總結**

	百萬美元
毛收入	21,289
運營成本	6,905
稅前收入	14,384
資本投入	1,922
淨收入	10,717
淨現值 @12% - Fábrica礦區	2,188

對Fábrica礦區現金流審查發現淨現值（以Vale加權平均資本成本12%折現）比較可觀。由於現有項目第一年現金流就為正數，所以內部收益率不適用。分析成本敏感度、運營開支和資本開支，每一項變化最高為100%。所有情況下的淨現值都為正數，表示Fábrica礦區儲量的良好經濟性，如表8-11所示。

**表 8-11**

**Vale**

**南部體系儲量審計**

**成本敏感度分析**

運營成本	淨現值 百萬美元	資本開支	淨現值 百萬美元
0%	2,188	0%	2,188
10%	2,039	10%	2,097
20%	1,890	20%	2,006
50%	1,444	50%	1,732
100%	700	100%	1,277

註：運營成本和資本開支單獨變化

此外，Vale還設計了另一項經濟性標杆作為風險指標，即項目淨現值與資本投入的淨現值之比。如果該比率大於一，該項目風險則為適度。

根據對採用三年滾動平均實現價格的礦山壽命經濟性分析的審查，PAH認為可以容易證實Vale Fábrica礦區2008年儲量經濟可行性。

現金流經濟性分析所依據的生產報表、年度成本和收入，在下面表8-12和表8-13中列出。表8-14列出了根據生產報表、成本和收入得出的年度現金流。

表 8-12

Vale

南部體系儲量審計

Fábrica礦區生產報表

生產總結	總計	2008實際	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	至2020	至 2030	至 2040
搬運量 (百萬噸)	-											
廢石	469	13.4	10.7	5.7	8.6	27.3	24.4	24.5	22.0	110.2	98.8	123.1
原礦 - 1號選廠 (赤鐵礦)	166	15.8	15.6	15.9	16.8	18.7	11.4	10.0	9.4	46.9	3.8	1.9
原礦 - 2號選廠 (鐵英岩)	648	-	-	-	-	-	25.1	27.6	26.0	129.8	244.1	195.5
其他搬運量	68	2.0	1.9	1.8	1.7	2.8	3.1	3.2	2.9	14.7	17.3	16.0
總計	1,351	31.3	28.2	23.3	27.0	48.9	64.0	65.3	60.3	301.6	364.0	336.5
生產												
目前選廠	121	10.9	10.8	10.9	11.6	12.9	8.3	7.4	7.1	35.5	3.8	1.9
鐵英岩選廠	288	-	-	-	-	-	10.9	11.4	11.5	57.4	102.0	95.2
總計	409	10.9	10.8	10.9	11.6	12.9	19.2	18.8	18.6	92.9	105.8	97.1
生產配送鐵路												
鐵路和港口成本比例	MRS EFVM	52% 48%										
1號選廠												
MRS / CPBS	63	5.7	5.6	5.7	6.0	6.7	4.3	3.9	3.7	18.5	2.0	1.0
EFVM / Tubarão	58	5.2	5.2	5.2	5.5	6.2	4.0	3.6	3.4	17.0	1.8	0.9
2號選廠												
EFVM / Tubarão	288	-	-	-	-	-	10.9	11.4	11.5	57.4	102.0	95.2
總計	409	10.9	10.8	10.9	11.6	12.9	19.2	18.8	18.6	92.9	105.8	97.1