



生效日期：2010年6月30日

CELEBRATING
50
YEARS
in 2010

VALE LIMITED

礦產儲量的外部審核

第2卷，第2節

曼尼托巴業務

提交予：
Vale Limited
2060 Flavelle Blvd, Sheridan Park
Mississauga, Ontario
Canada L5K 1Z9

REPORT



A world of
capabilities
delivered locally

報告編號： 10-1117-0032 Phase 2000

分發：

1份電子副本：Vale Limited

1份電子副本：Golder Associates Ltd.





行政概要

Golder Associates Ltd. (Golder)的合資格人士 David Sprott (總工程師) 及 Paul Palmer (總工程師兼總地質學家) 已於 2010 年 7 月 5 日一週考察曼尼托巴業務項目，並核實部分礦產資源為以下曼尼托巴業務項目於 2010 年 6 月 30 日的礦產儲量估計的基準。

於實地考察期間，他們已視察採礦業務、會見有關人士及收集所需資料，從而評估估計礦產資源及礦產儲量所用資料及方法的合適程度。就此次研究聯絡的人員名單包括：

- Rob Smith – 經理 – 曼尼托巴業務礦山地質
- Jean-Yves Cloutier – Vale 業務規劃組礦產儲量礦產資源總監
- Rob Stewart – 經理 – Vale 業務開發 Thompson 鎳礦帶勘探
- Glen House – 礦藏勘探資深地質學家
- Brenda Bilton – 礦藏勘探資源地質學家
- Al Proulx – T-3 礦場首席礦藏地質學家
- Dave Babulic – Birchtree 礦場首席礦藏地質學家
- Tim Mayor – T-1 礦場首席礦藏地質學家
- Janet Southern – Birchtree 礦場資源地質學家
- Angie Pavetey – T3 礦場資源 GIT
- Holly Davidson – T1 礦場資源地質學家
- Joan Ledwos – Vale 業務開發 Thompson 鎳礦帶勘探 MEBS 數據庫技術員
- Amy Byers – 工序工程師
- Stu Waring – 曼尼托巴業務採礦及研磨總經理
- Faye Pilling – 高級金屬會計專家
- Cal Liske – 曼尼托巴業務礦場工程經理
- Gord Bilton – T1 礦場規劃工程師
- Inge Robinson – T1 礦場區域主管
- Cecile Kelly – Birchtree 礦場首席礦場工程師主管
- Luc Kempers – T-3 礦場區域主管
- Steve Peterson – T-3 礦場首席礦場工程師
- Warren Brass – T-1 礦場礦場經理
- Darren Dodds – 財務經理



曼尼托巴業務審核

本研究包括審查技術報告、備忘錄及從 Vale 獲得的配套技術資料。過去的內部及外部技術審查及審核報告亦可供 Golder 查閱（如 Scott Wilson Roscoe Postle Associates Inc.於 2007 年 12 月 31 日作出的獨立審核）。

向 Golder 提供的礦產儲量估計預期符合證券交易委員會行業指引第 7 號的規定及 Canadian National Instrument(NI) 43-101 運用 CIM(2004)的專業術語。並無發現違反該等規定的情況。

Vale 於 2010 年 6 月 30 日的礦產儲量報表已交由 Golder 審核。Golder 審核的礦產儲量乃根據礦產資源模型作出以及運用適當的成本、優化、礦場設計及實務進度編製。Golder 認同將礦產資源轉換為礦產儲量所採用的程序。有關數字就公開報告而言屬適當，他們已對礦產儲量作出令人滿意的預測。噸位及品位乃根據記錄的成本及價格按適當的經濟切斷品位呈報。

下表的礦產儲量數據乃按照公開報告的適當精確水平提供。

2010 年 6 月 30 日曼尼托巴業務礦產儲量

礦場	類別	噸位 (千噸)	%鎳	%銅 ¹
Birchtree 礦場	探明	2,753	1.83	0.10
	可能	2,500	1.53	0.08
	探明+可能	5,254	1.69	0.09
Thompson 礦場	探明	5,199	1.98	0.12
	可能	14,470	1.64	0.10
	探明+可能	19,669	1.73	0.11
曼尼托巴業務總計	探明	7,952	1.93	0.11
	可能	16,970	1.63	0.10
	探明+可能	24,923	1.72	0.10

附註：

1. 銅儲量基於金剛石鑽孔岩芯數據分析中鎳與銅之間的修正數據衍生而來的歷史因素。Thompson 礦場透過比對 5 年期間經礦廠驗證的生產數據，已核實該等因素。



重要意見

- **殘渣設施處理量：**已審閱長期管理殘渣地段的多項選擇及建立了劃分為三期的資本計劃。迄今為止，只啓動了其中兩期的計劃。第三期的盆地資本計劃是將築壩的高度提高約 10 英尺 (3 米)。一旦最後階段的資本項目獲得批准及成功實行全部三個項目，預期該等變動將會延長殘渣盆地的年期，以延長廠房所在礦場的年期、繼續符合 MMR 的規定及改善有關設施的關閉計劃。因此，為了支持礦場計劃的年期，全部三個階層均有實行的需要。
- **於熔爐綜合項目減少二氧化硫：**曼尼托巴業務 (曼尼托巴業務) 須符合政府所建議的規例，有關規例規定熔爐和精煉廠須於 2010 年減少排放綠室氣體達 18% 及每年減少 2% 直至 2020 年。倘未能構思出在經濟及技術上可行的減排方案，該等規定可能導致熔爐和精煉廠須予關閉。然而，評估已顯示出，作為出售精礦予其他地區熔爐 (不論是否由 Vale 抑或第三方擁有) 的礦場—選礦廠的業務而言，曼尼托巴業務將繼續具備經濟條件。
- **基礎設施問題：**3600 有軌電車被公認為在 Thompson 礦場進行生產的未來樽頸問題，現正不斷研究以圖解決這個問題。隨着 Thompson 和 Birchtree 礦場繼續進行生產，提供關鍵的礦場服務例如回填料及通風設備將會帶來更大的挑戰及成本。目前計劃將來以水泥填石作為採礦的主要回填料。
- **由於 Birchtree 礦場的地面不穩定性問題及於 1D 地段遷移人員和物料的基礎設施缺乏效率，故此曼尼托巴業務要維持目前的生產率具有一定難度。**
- **抽樣化驗數據是透過以人手匯出 CSV 檔案至數據庫而填入。定期會完成復查，但卻是以人手檢查數據表的方式而進行。其他 Vale 業務 (安大略及 VINL) 正把握機會改善有關流程，故此曼尼托巴業務亦應作出此項考慮。**
- **以往的礦產資源量有小部分是使用多邊型模型而估計，但並未使用區塊模型及曼尼托巴業務的可開採儲量優化程序來進行更新。以多邊型模型提供支持的範圍低估或高估了估計的品位。這情況可見於 T1 礦場，該礦場今年所開採的品位低於特定區塊所指出的礦產儲量品位。估計這是由於採用了多邊型估計方法之故。**
- **已完成審閱 SRK 礦井設計的可行性前報告，而鑒於金屬價格和匯率的變動，可能須就礦井殼層的經濟情況進行更新。**
- **現金流量預測審閱顯示正面的項目經濟情況支持將礦產資源量轉化為礦產儲量。敏感度分析顯示淨現值於所有測試情況中均是正數，顯示項目的經濟情況相當理想。**



目錄

2.0 曼尼托巴業務	1
2.1 位置	1
2.2 所有權	1
2.3 土地租期及採礦權	1
2.4 基礎設施	4
2.5 生產過程及產品	5
2.6 金屬回收	5
2.7 市場	6
2.8 歷史生產情況	6
2.9 地質及礦藏	8
2.10 勘探及開發鑽探	16
2.11 礦床抽樣方式和數據管理	17
2.12 礦產資源評估	23
2.13 礦產儲量評估	33
2.14 報告的礦產儲量	42
2.15 調節及儲量審計	43
2.16 環境	48
2.17 社區與政府事宜	49
2.18 經營成本	49
2.19 資本成本	51
2.20 課稅	52
2.21 礦產儲量的經濟評估	52
2.22 採礦年限	55



表

表 2-1：樞密院頒令租約.....	2
表 2-2：礦產租約.....	3
表 2-3：曼尼托巴業務的主要金屬平均回收率（基於 2010 年平均計劃品位）.....	6
表 2-4：2007 年至 2010 年 6 月 30 日的歷史生產情況.....	7
表 2-5：曼尼托巴業務金剛石岩芯鑽探（2009 年 1 月 1 日至 12 月 31 日）.....	16
表 2-6：曼尼托巴業務金剛石岩芯鑽探（2010 年 1 月 1 日至 6 月 30 日）.....	17
表 2-7：Thompson 礦場的多邊形參數.....	26
表 2-8：Birchtree 礦場的多邊形參數.....	26
表 2-9：Thompson 礦場塊體模型詳情.....	27
表 2-10：Birchtree 礦場塊體模型詳情.....	27
表 2-11：Thompson 礦場搜索橢圓容積（英呎）.....	29
表 2-12：Birchtree 礦場搜索橢圓容積（英呎）.....	29
表 2-13：Thompson 礦場地質內推法.....	31
表 2-14：Birchtree 礦場地質內推法.....	31
表 2-15：兩種採礦方法的平均生產能力（噸/班）.....	35
表 2-16：曼尼托巴業務開採速度摘要（2010 年 LOM 計劃，截至 6 月 30 日實際數字）.....	37
表 2-17：曼尼托巴業務實際開採速度摘要（濕噸/天）.....	37
表 2-18：2010 年 6 月 30 日曼尼托巴業務礦產儲量.....	42
表 2-19：2006 年至 2009 年曼尼托巴業務礦產儲量（千噸）.....	43
表 2-20：曼尼托巴業務年初至六月份及計劃開採品位及鎳產量對比.....	43
表 2-21：曼尼托巴業務實際及計劃開採品位及鎳礦產量對比.....	45
表 2-22：Golder-Vale 塊體模型對比.....	48
表 2-23：現金經營成本概要.....	50
表 2-24：曼尼托巴業務總開採現金成本.....	50
表 2-25：曼尼托巴業務總開採現金成本（（美元）/濕噸）.....	51
表 2-26：曼尼托巴業務五年計劃的資本成本安排（千美元）.....	51
表 2-27：曼尼托巴業務五年礦產量（根據 2009 年 LOMP 的採礦量，濕噸）.....	55
表 2-28：曼尼托巴業務五年鎳產量（根據 2009 年 LOMP 的鎳礦產量（磅））.....	55



圖

圖 2-1: 曼尼托巴業務的位置及採礦租約.....1

圖 2-2: 位於曼尼托巴業務的樞密院頒令租約及礦產租約的位置.....3

圖 2-3: Thompson 鎳礦帶地層岩性柱.....9

圖 2-4: Thompson 礦場縱截面.....13

圖 2-5: Birchtree 礦場縱截面.....14

圖 2-6: 鎳複製樣本的分位數分佈圖 — 2010 年 1 至 3 月(Thompson 2010 Checks.xls)22

圖 2-7: 鎳複製樣本的相對差異圖 — 2010 年 1 至 3 月(Thompson 2010 Checks.xls)22

圖 2-8: 稀釋及礦物回收率界定 (BT 2009 MRMR)39

圖 2-9: 確定曼尼托巴業務礦石價值的方法圖示 (MO 2009 MRMR)40

圖 2-10: 曼尼托巴業務敏感度分析.....54



2.0 曼尼托巴業務

2.1 位置

曼尼托巴業務位於曼尼托巴省北部，Winnipeg 以北 800 公里，毗鄰 Thompson 市，見圖 2-1 所示。

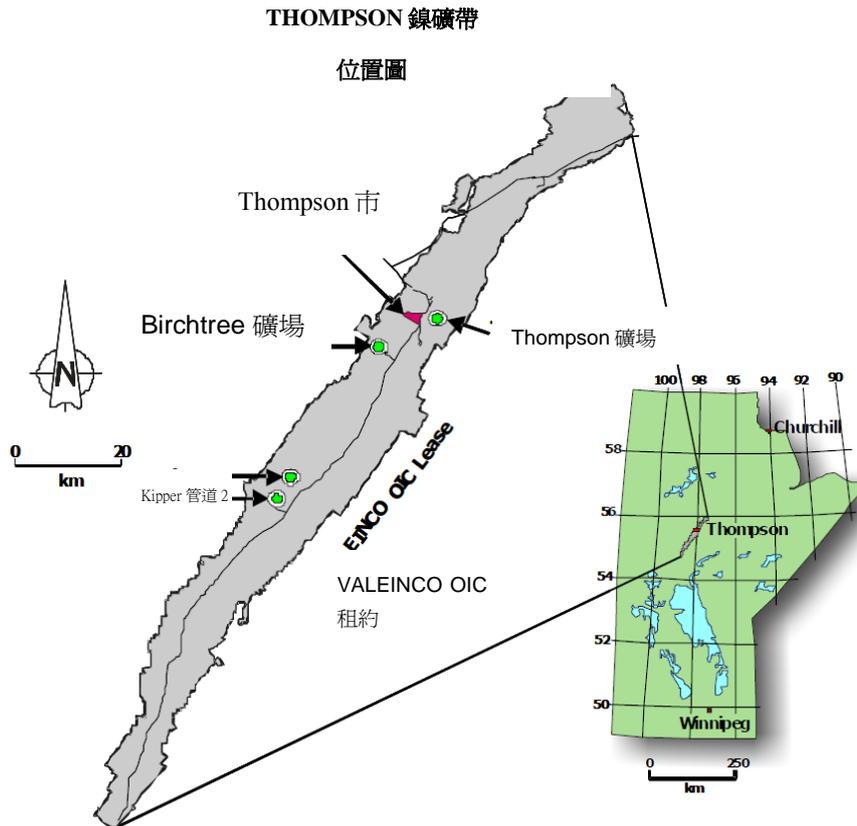


圖 2-1：曼尼托巴業務的位置及採礦租約

2.2 所有權

Vale Limited (Vale) 完全擁有曼尼托巴業務（由 Mystery Lake Nickel Mines 持有的樞密院頒令租約除外，現時報告未有礦產儲量或礦產資源）。

2.3 土地租期及採礦權

Vale 在曼尼托巴所有的土地或採礦權包括由樞密院頒令租約、採礦租約及採礦請求權組成。Vale 持有 OIC 租約及礦產租約限定的全部礦產儲量及礦產資源。



樞密院頒令租約

Vale 目前在 Thompson 鎳礦帶持有總共 2,947 項樞密院頒令租約。Vale 完全上述共 2,918 項租約。Mystery Lake Nickel Mines (MLNM) (Vale 擁有其 82.6%的股權，而 Newmont Exploration of Canada 擁有其 17.4%的股權) 名下持有總計 29 項樞密院頒令租約。

樞密院頒令租約經過了六年時間 (1957 年 — 1962 年) 才完成初始調查並生效，且只要小組中的任何一個租約錄得生產，樞密院頒令租約會被共同視為「生產租約」。樞密院頒令租約的首次租期為 21 年，其後有兩次保證續期，每次為期 21 年。樞密院頒令租約三次每次為期 21 年的保證續期現已全部批出。繼三次 21 年保證租期之後的租約續期由曼尼托巴省的科技、能源及礦業部長酌情批准。

表 2-1 載列 2,947 項樞密院頒令租約 (6,358 項探礦請求權)，涉及 Thompson 鎳礦帶的 109,043.3 公頃。

表 2-1：樞密院頒令租約

屆滿日期	公頃	持有公司	物業
2020 年 1 月	2854.49	Vale Inco Limited	Thompson 礦帶北部
2020 年 2 月	379.52	MLNM	Thompson 礦帶北部
2021 年 1 月	108.59	MLNM	Thompson 礦帶北部
2021 年 1 月	3399.40	Vale Inco Limited	Thompson 礦帶北部
2022 年 9 月	21763.93	Vale Inco Limited	包括 Thompson 及 Birchtree 礦場
2023 年 9 月	19772.02	Vale Inco Limited	Thompson 礦帶北部
2024 年 9 月	29092.03	Vale Inco Limited	Thompson Belt 東部包括 Thompson 礦場 向下的延伸
2025 年 9 月	31679.32	Vale Inco Limited	Thompson 礦帶南部
總計			

礦產租約

礦產租約是曼尼托巴省根據《礦業和礦產法 (曼尼托巴)》發出的租約，賦予承租人租約涵蓋的土地之上或之下存在的礦產 (採石場礦產除外) 的專有權利，及在租約限制內建造開採用建築物及構造 (包括豎井) 的權利。礦產租約為 21 年租約，可由省科技術、能源及礦業部長酌情批准予以續期。Vale 持有六份礦產租約，範圍涵蓋 Thompson 鎳礦帶內 4,151.21 公頃。這些礦產租約有效期至 2013 年 4 月 1 日，概列於表 2-2 並如圖 2-2 所示。



表 2-2：礦產租約

租約	公頃	物業
礦產租約 10	774.47	Hambone N.
礦產租約 11	711.81	Hambone S.
礦產租約 12	789.54	Mystery N.
礦產租約 13	564.94	Birchtree
礦產租約 14	637.78	Birchtree
礦產租約 15	672.67	Birchtree
總計	4,151.21	

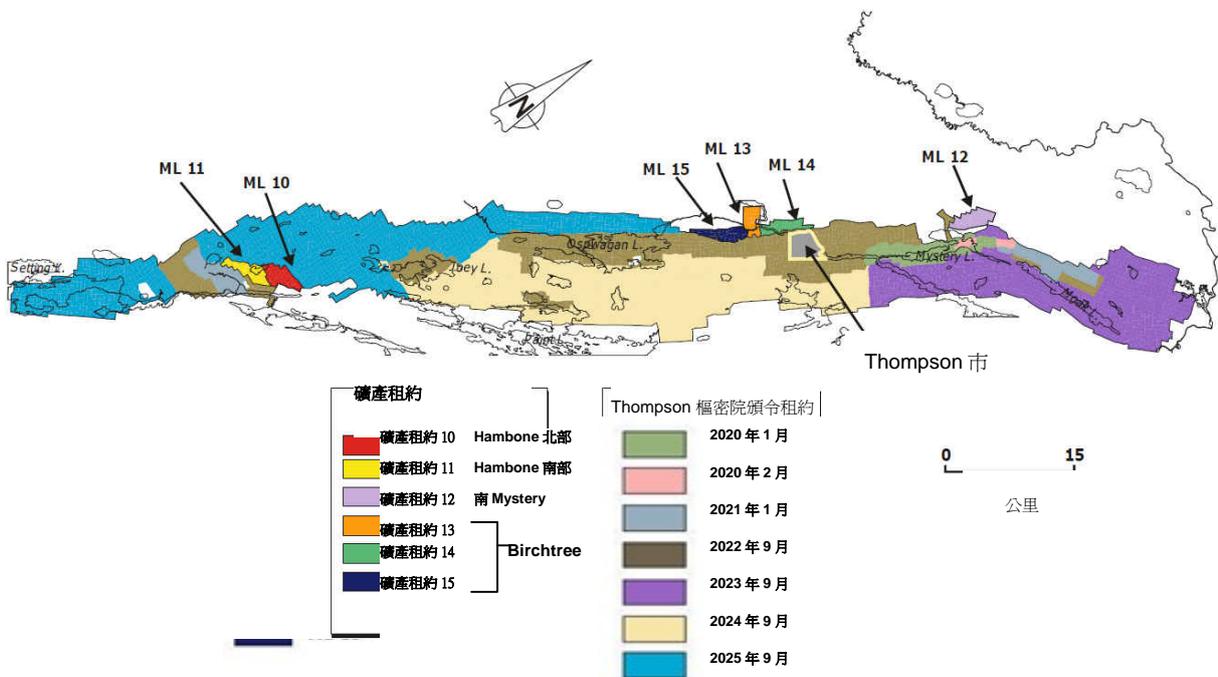


圖 2-2：位於曼尼托巴業務的樞密院頒令租約及礦產租約的位置

Thompson 礦場

涵蓋現時 Thompson 礦場範圍的所有樞密院頒令租約均已於 2001 年成功續期 21 年，將於 2022 年期滿。涵蓋 Thompson 礦場的東部及深度延伸的樞密院頒令租約於 2003 年已續租第三個 21 年期，將於 2024 年期滿。每公頃 10.50 加元的年租金（最低付款 193 加元）已付予科技、能源及礦業部長以保持樞密院頒令租約良好有效。儘管估計的礦產儲量預期於屆時之前耗盡，但租約包含推測存在的礦產資源及勘探中的潛在礦藏。如這些勘探項目成功，額外的礦產儲量將有待開發。



Vale 計劃於 2010 年與科技、能源及礦業部長展開討論，協商根據現時的曼尼托巴採礦法將樞密院頒令租約續期或更換為礦產租約。這一過程將在樞密院頒令租約到期之前提前發現需要妥善解決的問題，旨在令 Vale 做好準備，以使其採礦權得到延期以便在現有屆滿日期後繼續經營。如關於 Thompson 礦場的樞密院頒令租約在其現有屆滿日期後未得到續期或更換，礦產儲量將減少（約）560 萬噸，而所有已報告預期於 2024 年後 Thompson 礦場中的礦產資源將會被除去。

Birchtree 礦場

Birchtree 礦場橫跨隸屬樞密院頒令 1746/56 的多個租約（向東）與現時《礦業和礦產法》下多個礦產租約（向西）間的界限。樞密院頒令租約於 2001 年已另續第三個 21 年期，因此將於 2022 年屆滿。Birchtree 礦場的三份礦產租約將於 2013 年 4 月 1 日屆滿。Birchtree 礦場礦體從樞密院頒令租約向西傾斜至礦產租約之上。基於目前的生產計劃，定於 Birchtree 礦場開採的礦產儲量到 2013 年，即礦產租約 21 年期屆滿時將尚未枯竭。如 Vale 遵守租約及《礦業和礦產法》，礦產租約可另續 21 年期。Vale 並未發現妨礙其將礦產租約另續 21 年期的任何問題或錯誤。

Vale 計劃於 2010 年與科技、能源及礦業部長展開討論，協商根據現時的曼尼托巴採礦法將樞密院頒令租約續期或更換為礦產租約。這一過程將在樞密院頒令租約到期之前提前發現需要妥善解決的問題，旨在令 Vale 做好準備，以使其採礦權得到延期以便在現有屆滿日期後繼續經營。如關於 Thompson 礦場的樞密院頒令租約在其現有屆滿日期後未得到續期或更換，礦產儲量將不會受影響，而所有已報告預期於 2022 年後 Birchtree 礦場中的礦產資源將會被除去。

有資格人士認為，由於曼尼托巴政府已在過去進行數次續租，因此樞密院頒令及採礦租約的續期將不存在問題，且於是次審核將不會視此為嚴重缺憾。

2.4 基礎設施

曼尼托巴業務生產基礎設施包含：

- 一家選礦廠；
- 一個配有兩個電爐的熔爐；
- 一家鎳精煉廠；
- 辦公室和服務設施；及
- 尾礦處理、爐渣處理及沉澱池的專用區。

電力由 Manitoba Hydro 提供。



2.5 生產過程及產品

礦藏生產源自兩個地下礦場：Birchtree 礦場和 Thompson 礦場。採礦方法主要使用豎直分塊開採(VBM)、槽切開採法（平均高度 100 英尺的豎直分塊），及充填開採法。礦石會在地底被壓碎至小於 15 厘米，而後運至選礦廠。

在選礦廠，礦石於圓錐破碎機、棒磨機及球磨機內壓碎及碾磨，而後送入泡沫浮選機。多階段泡沫浮選將硫化礦物質分為鎳精礦及銅精礦。磁黃鐵礦未被分離。尾礦於尾礦沉澱池中進行處理，亦作為填料置放於地底。接近三分之一磨機給料可用作地底填料。鎳精礦平均含 14%鎳和 0.4%銅。銅精礦平均含 13%銅和 4%鎳。

銅精礦經過濾後運至安大略業務 Sudbury 的主體熔煉廠。鎳精煉產生的硫化物陽極泥經過濾後出售。硫化物陽極泥品位約為 8% 鎳和 1%銅，並含有貴金屬。

鎳精礦脫水後，透過流化床焙燒爐、電爐及 Pierce-Smith 轉爐加工，升級成為吹爐硫。吹爐硫被鑄造為陽極，品位為 76%鎳和 2%銅。

鎳精煉屬電解性質。陽極鎳經過分解產生電解液（「陽極電解液」），主要含有鎳，但也有大量銅、鈷及鐵。陽極電解液經過數階段進行提純，產生純度高於 99.9%鎳的「電鎳」。

陽極電解液的提純亦產生品位約為 34%銅和 13%鎳的銅餅。

目前對曼尼托巴業務的礦場產品出口以在加拿大境外處理或提煉並無限制。

有資格人士認為，曼尼托巴業務的生產過程得到充分了解，並一直成功地為 Vale 創造產品。有資格人士完成的審查程度基於文件審查，且未發現任何嚴重錯誤。

2.6 金屬回收

礦廠對鎳、銅和鈷的金屬回收率乃用於礦產儲量估計，將礦廠給礦品位作函數計算。回收率公式對照實際礦廠經營業績進行每年更新。

對於熔煉廠和精煉廠內鎳和鈷的回收率，其確定因素乃基於業務現時冶金計劃的回收物使用率，而後者一般基於前兩年的結果。

銅回收率乃基於影響安大略業務下的熔煉廠和精煉廠的銅回收率之因素。

對於貴金屬的回收率，其確定因素乃基於礦廠回收率以及熔煉廠和精煉廠回收率。

基於 2010 年平均計劃品位的 Birchtree 和 Thompson 礦場的總體金屬回收率列於表 2-3。



表 2-3：曼尼托巴業務的主要金屬平均回收率
(基於 2010 年平均計劃品位)

金屬	Birchtree 礦場	Thompson 礦場
%鎳回收率	80.3	83.9
%銅回收率	73.8	76.6
%鈷回收率	44.8	44.5

有資格人士認為，曼尼托巴業務的金屬平均回收率業得到充分了解，並適用於礦產儲量估計。合資格人士完成的審查程度基於文件審查，且未發現任何嚴重錯誤。

2.7 市場

鎳作為鎳「餅」或陰極（鎳塊）出售。大部分被銷往電鍍業，其餘則銷往熔煉業。該等產品佔曼尼托巴業務回收鎳產量的約 97%。

銅精礦和銅餅被運至 Vale 的安大略業務。銅經精煉後作為陽極銅出售。銅產品中的鎳佔曼尼托巴業務產生的回收鎳剩餘 4%產量。

鈷以水合物的形式生產，並作為水合物直接向市場銷售。

曼尼托巴業務礦石每噸約含 0.5 克鉑族金屬和金。貴金屬從硫化物陽極泥中採集後會銷往市場。

我們從 Vale 了解到，Vale 所有產品均能銷往成熟的市場。

有資格人士認為，曼尼托巴業務的金屬市場得到充分了解，並適用於礦產儲量估計。合資格人士完成的審查程度乃基於文件審查，且未發現任何嚴重錯誤。

2.8 歷史生產情況

表 2-4 顯示截至 2009 年（年底）三年期間的曼尼托巴業務礦區產量及平均品位，並以 2009 年遞交證券交易委員會檔的 20F 表格提供的資料為基礎。亦載有 2010 年上半年（2010 年 6 月 30 日）的產量，用於比較。



表 2-4：2007 年至 2010 年 6 月 30 日的歷史生產情況

區域	單位	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年 上半年
Thompson 生產情況					
噸數	(乾式千噸)	1,380	1,320	1,270	745
鎳的品位	(%)	1.83	1.77	1.98	1.68
Birchtree 生產情況					
噸數	(乾式千噸)	1,164	971	769	439
鎳的品位	(%)	1.52	1.51	1.48	1.38
曼尼托巴業務礦區生產情況					
噸數	(乾式千噸)	2,544	2,291	2,039	1,174
鎳的品位	(%)	1.69	1.66	1.79	1.57

表 2-4 顯示 Thompson 礦區過去五年的產量水準平均，而 Birchtree 礦區的產量則呈下降趨勢。Thompson 礦區給礦品位於 2009 年的上升趨勢可部分歸因於轉至在 1D 下層區域選擇開採更高品位的礦產。相比之下，Birchtree 給礦品位於 2007 年至 2009 年保持平均。Birchtree 礦區的品位下降趨勢歸因於保持平穩採礦前線的地基穩定性事宜。組塊選擇受限，且過渡至更優的採礦層序將可減少地面壓力。

經與 Vale 討論後，於低品位生產區域採鎳乃造成 Thompson 礦區於 2010 年上半年的品位趨勢的原因，礦產品位計劃於今年下半年獲得恢復，且 2010 年的最終品位將接近三年的平均品位。2010 年產量噸位有望與 2009 年持平。於低品位生產區域採鎳乃造成 Birchtree 礦區於 2010 年上半年的品位趨勢的原因，該品位有望於今年下半年恢復且平均品位約為 1.5% 鎳。這將導致 2010 年 Birchtree 礦區的給礦品位略低於三年的平均值。Birchtree 礦區的產量噸數持續上升，且 2010 年產量噸數有望超過 2009 年，接近 2008 年的產量噸數。

礦廠驗證等級亦會對給礦品位產生不利影響。出土礦產（由地質人員每日作出估計）與礦廠驗證等級之間存在 7% 的差異。已確認與表層給料及排放點的取樣程序相關的事宜。其中若干事宜已於 2009 年獲得解決。餘下事宜將於 2010 年採取行動。目的在於減少礦場與礦廠之間的差異。

曼尼托巴業務的開採規劃以公司的長期鎳價格預測為基礎。個別組塊經濟將根據較短期的鎳價格及實際採礦成本在臨近採礦前予以評估。2007 年及 2008 年上半年，鎳銷售價格的上漲提高了其礦產價值，且在很大程度上有效降低了若干區域的邊界品位。然而，曼尼托巴業務受必要的礦廠給礦品位的限制。

有資格人士認為曼尼托巴業務礦區的歷史產量獲得充分紀錄並可適當應用於適用的礦物儲備估計。有資格人士所完成審核的水平基於文件審核及與 Vale 員工的討論，並未發現任何嚴重錯誤。



2.9 地質及礦藏

區域地質

Thompson 鎳地帶由一系列早元古代變質沉積岩（稱為 Opswagan 群組，已受到超鐵鎂岩體的侵入）構成。沉積物及超鐵鎂岩體已變質並與太古宙片麻岩交叉折疊，形成「山坡及盆地」型結構環境。

區域地質

Opswagan 群組已劃分為一系列構造，如圖 2-3 所示。基礎 Manasan 構造包括兩個部分：

下層部分由不純石英岩及長石砂岩石英岩構成，局部有少量卵石礫岩晶體，不整合地分佈於底層的太古宙片麻岩頂部，顆粒由細緻至十分細緻，顏色可呈淺灰色至米黃色，帶有少量薄層狀或薄片。

上層部分通常為 3 到 65 英尺（0.9 到 19.8 米）厚，由源於長石玄武岩的石英—長石—白雲母—黑雲母片岩構成，比下層部分存在更多的泥質物質。

Thompson 構造位於 Manasan 構造之上，由主要為半泥質岩過渡為薄層鈣質變質沉積岩。它通常顯示薄的成分分層，並由白雲質碳酸鹽、硅質白雲質大理石及燧石混合物，及若干夾雜半變泥質岩構成。

下一重構造乃管狀構造。本單位可見含鎳硫化物中並包含三個單元：

P1 部分由層積薄層狀燧石、石墨泥質片岩及硫化物相鐵礦構造構成。磁黃鐵礦（原生硫化物）呈現為不超過 1 英尺（0.3 米）厚的層積物或岩層。

P2 部分覆蓋於 P1 之上，由泥質片岩構成，通常更帶有石榴石、十字石及硅線石的斑狀變晶體。燧石及鈣質硅酸岩的薄層礦床中一般夾有片岩。硫化物（一般為幼粒分散磁黃鐵礦）與石墨一樣，通常隨處可見。所有有價值的礦化作用均可見於 P2 部分中。

P3 部分處於序列的最上層，由硅酸岩相含鐵構造組成。原生礦成分為石英、黑雲母、石榴石、鐵閃石、鎂鐵閃石、角閃石、斜及正交輝石、正硅酸鐵、碳酸鹽及磁鐵礦。白雲質大理石夾有鐵構造。石英主要以再結晶燧石的形式存在。燧石由薄到厚層積，通常因構造變動而發生斷裂。

環境構造位於管狀造之上。其由厚夾層石英岩及泥質片岩組成。鈣質硅酸岩晶體十分常見，可呈現為富含碳酸鹽的變質凝塊。

Opswagan 群組最上層單元乃 Bah Lake 構造。其由鎂鐵火山岩流及碎屑構成玄武岩至橄欖玄武岩（橄苦岩）不等，通常作為地基處理褥墊。

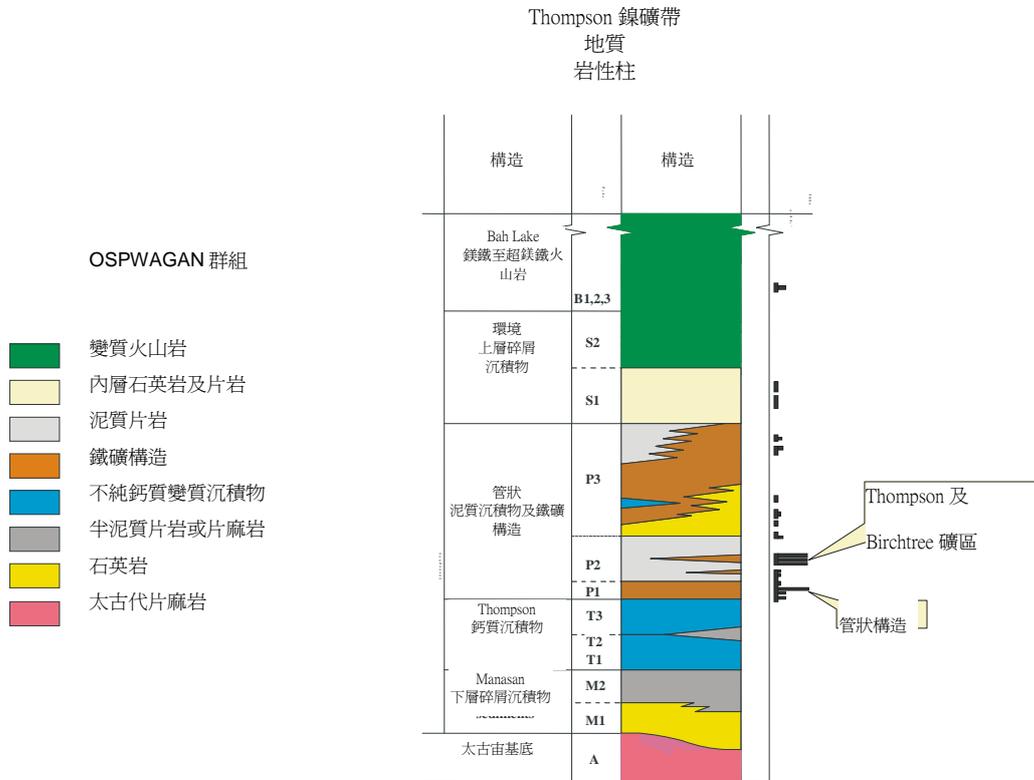


圖 2-3: Thompson 鎳地帶地層岩性柱

地質結構

區域褶層干涉圖樣的深裂遺跡保存了早元古代 *Ospwagan* 組群的覆蓋層序，可反映複雜的形變歷史。該地至少存在六個階段的褶皺，其中有兩個（F1 及 F3）最重要的階段。第一個褶皺階段(F1)引起了大規模的平臥向形褶皺。該等褶皺經不時發生的緊密、垂直、突出的雙重 F3 褶皺再次折疊，形成複雜的褶皺干涉圖樣。

鎳礦通常見於 *Ospwagan* 群組的 P2 構造中。與礦石有關的超鐵鎂岩體顯示不同程度的分裂及香腸構造，而硫化物礦化作用通常在其周圍發生。

主要向形褶皺構造的大部分西部接觸受緊隨此接觸的糜棱岩帶的剪切影響。大部分的基礎地層單位（*Manasan* 至 *Thompson* 構造）已演變成無法辨別的微小薄弱單位。礦化作用已重新改造了此剪切帶，而現在已衝破了過去超鐵鎂岩體的限制。

Thompson 礦區內廣闊的的高品位礦化作用不斷擴大多重斷裂／拖曳的平臥褶皺的區域，呈現出 P2 內的地層序列。該等斷層帶內獨特的中型硫化角礫岩礦石為：

- 梯形及接口接近垂直的半整合礦脈結構；及
- 具備填充的膨脹拖曳褶皺的平臥礦脈。



該等膨脹地帶呈現從實際寬度達 300 英尺（100 米）到顯微鏡尺寸各類規模。局部地區不同方向的張裂縫內較少出現大量硫化物。

晚期脆弱的構造出現在 Thompson 礦區，但通常範圍狹窄且走向長度有限。雖然它們可能對當地的地面條件產生不利影響，但很少影響礦區的圖形佈局。但在當地被稱作 Davy 斷層的大而脆弱的 1D 斷層體系則例外。1D 上層礦體及部分 1D 下層礦體內存在明顯的管狀構造。斷層通常按照不同窄角度從西南方向或與礦區平行的數個位置橫跨礦區。斷層根據方向及主岩類型可為高達 100 英尺（30 米）的多孔石英石 – 碳酸鹽角礫岩區域向下跨越至數毫米的石墨剪切帶。斷層帶會影響當地的岩體穩定性，且必須使用數項地面控制／支援方法方可保證採礦安全。

Birchtree 礦區存在兩種重要的斷層構造：

- 構造下盤中的走向平行斷層，包括 780 及 1080 斷層；及
- 向東淺傾的斷層，包括 906 及 609 斷層。

與該等斷層有關的小斜角構造亦出現在 Birchtree 礦區，例如 84 剪切。

礦藏

硫化物礦藏在的管狀構造（Opwagan 群組的構成部分）內露出超鐵鎂岩體。硫化物礦藏以超鐵鎂岩體內的侵染硫化物、大量硫化物礦脈及晶體、擁有管狀構造的超鐵鎂岩體的接觸面及管狀構造內大量硫化物礦脈及晶體的形式而存在。下文兩種礦藏類型中包含所有的礦物儲量。

Thompson 礦區的地層被翻轉並向西下沉 65 度。太古宙片麻岩位於 Thompson 礦區的上盤。片麻岩上層是不整合的石英岩、片岩、鎳礦化物、鈣質大理石及鐵礦構造。角閃岩岩脈及偉晶岩層具備所有的岩性。Thompson 礦區的超鐵鎂岩體（局部地區稱為橄欖岩）中存在鎳礦化作用。Birchtree 礦區的大多數硫化物礦化作用乃含超鐵鎂岩的礦藏。

礦藏一般根據其與超鐵鎂岩體的礦化空間關係進行分類：

變質沉積岩構成的礦床

結構性控制膨脹硫化物岩基礦化區域包含於 P2 片岩內。大型硫化物中普遍含有圍岩及超鐵鎂岩。礦化情況為線形且更易預測，其寬度範圍從 0.3 米至 60 米。普遍存在膨縮結構。大多數 Thompson 礦場的礦體歸於此類。



超鐵鎂岩相關的礦床

儘管完全包含超鐵鎂質岩的礦石普遍存在，硫化物礦化區域趨向於集中在下盤或上盤岩石及超鐵鎂岩之間。Birchtree 礦場的 84 礦體普遍被描述為硫化物岩基內的礫狀超鐵鎂岩。任意分佈的超鐵鎂岩內含物的大小範圍從幾厘米至幾百米。

在 2 號管道中，礦化情況包括超鐵鎂岩相關的礦染、網狀硫化物、中型分離物、中型至大型脈及角礫岩。硫化物區域隨走向而延伸，並從超鐵鎂岩主體傾斜至沉積物構成的脈、淺窪、大型角礫岩硫化物晶體。

硫化物

大型硫化物包含超鐵鎂岩內含物及沉積物。平均而言，大型硫化物包括 90% 的磁黃鐵礦、10% 的鎳黃鐵礦及少於 1% 的黃銅礦。鎳黃鐵礦內含有鈷。

Thompson 礦體

Thompson 礦場由以下礦體組成，如圖 2-4 所示。

- 3 號剪切 — 3 號剪切礦體沿著 Thompson3 號區域分佈。3 號剪切礦體從地表向地底延伸至約 1,600 英尺（488 米）。該區域內的礦化情況主要由大型超鐵鎂岩體構成。該區域為 Thompson 開採的首批區域之一，其亦具未來殘礦開採潛力。
- 2-3 號凸頭 — 2-3 號凸頭呈現南向傾斜及北向褶皺截流，其僅位於 3 號剪切礦體的東部。該區域已向下開採至 3600 水平，目前在 3200 水平與 2800 水平之間開始殘礦開採。礦化情況接近於環境構造接觸，但普遍與當地超鐵鎂岩內含物受限於 P2 片岩內。這可歸因於 F2 褶皺截流周圍膨脹區域遭填積。
- 2 號剪切 — 2 號剪切礦體為分垂直的西北／東南走向區域，位於 Thompson 圓頂結構的南端。2 號剪切礦體連接 2-3 號凸頭及凸頭礦體。從地表至約 4,550 英尺（1,387 米）深層開始採礦。現時活動包括從 4550 至 4050 水平進行南端開發的主要採礦、3200 至 234 綜合項目的殘礦開採及 2000 鑽冠。未來採礦機會存在於 4500 水平以下南端開發的主要採礦及其他殘礦區域。
- 凸頭 — 凸頭結構為 Thompson 圓頂東南端的大部分。其包括南向傾斜及南向褶皺截流。礦化情況由褶皺截流周圍膨脹區域的填積作用而成。由地表向下至 4000 水平的礦體開採經已進行。4000 水平以下繼續出現礦化情況，但未概述足夠的礦石品位材料以達到所追求的經濟效益。4000 水平以上的殘礦區域列於 Thompson LOM 計劃。
- 1A — 1A 區域為整體位於 Thompson 圓頂東部翼邊的南部大部分礦體。1A 區域為南向傾斜礦體，位於 P2 片岩內。對地下 400 水平至 3600 水平的 1A 礦體進行開採。頂部的 1A 礦體開採正在持續進行。1A 礦體亦存在潛在的殘礦回採區域。



- 1B — 1B 礦體位於 Thompson 圓頂東部翼邊，僅位於 1A 的北部。礦體實質上可基於採礦活動及礦化情況分為兩個區域。2400 水平以上的 1B 礦體為 P2 片岩內構成的沉積物及少量超鐵鎂岩侵入。實質上該區域礦藏已採完，僅剩下少數殘礦區域。由於礦石趨向於迴繞大型橄欖岩體，2400 水平以下的礦體變成相關的超鐵鎂岩。此為 2802 綜合項目的主要採礦，且目前在 3100 與 2400 水平之間進行大量採礦。
- 1C — 1C 礦體位於 T-3 豎井周圍的中心位置。實質上 400 至 3300 水平之間的礦藏已採完，剩下少數殘礦。金剛石鑽探於 3300 水平切斷礦體。T-3 豎井南部 400 水平以上的大部分鑽冠礦柱已藉助露天礦坑提取。T-3 臨近及其北部的鑽冠礦柱近日成為新露天礦坑研究的主題。藉助露天礦坑開採區域具經濟效益，但由於 T-3 豎井及周邊基礎設施的潛在影響，項目計時至關重要。礦化情況局部與超鐵鎂岩體相關，但通常被稱為沉積物構成的礦藏。2400 水平以下的 1-C 綜合項目內的礦石由 F2 褶皺截流臨近的大型膨脹區域的硫化填積作用而成。
- 1D 上層 — 1D 礦體位於 34500N 北部，目前為主要採礦區域。1D 上層採礦區域從 3500 水平延伸至 2400 水平。目前正在對 2400 水平以上的區域就未來潛在採礦業務進行評估。目前正在對接近地表的材料進行評估，以確定是否可能藉助露天礦坑開採礦藏。1D 上層礦體為 P2 片岩內含有的整體線形東向傾斜結構。礦化情況通常與 P2 片岩內的剪切相關，並產生可導致含礦液體遷移的薄弱區域。
- 1D 下層 — 1D 下層礦體位於 3500 水平以下，且於深層開放。此為主要採礦區域，目前正採用機械充填開採方法進行採礦。F2 褶皺鉸鏈位於 Thompson 構造砂卡岩（引起 P2 剪切區域的偏轉）內典型的向形截流（「懸掛」）以下，而 1D 下層礦體在 F2 褶皺鉸鏈周圍的硫化區域進行開發。

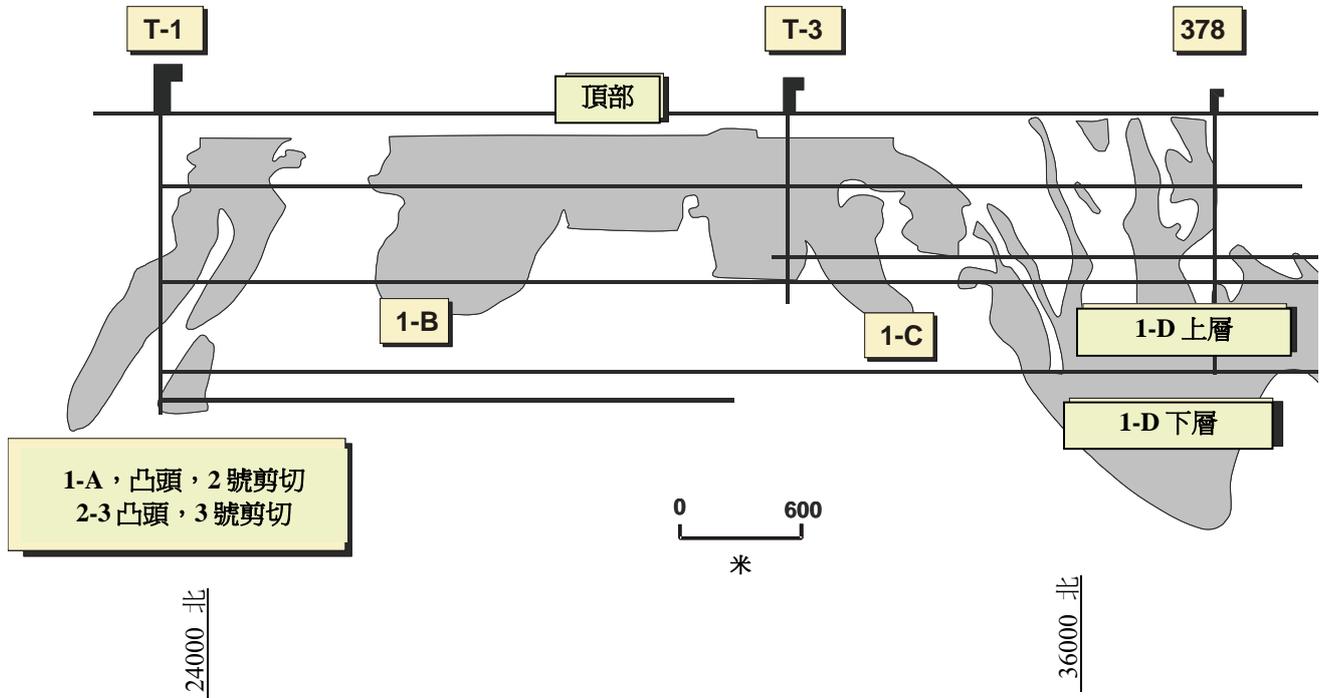


圖 2-4：Thompson 礦場縱截面

Birchtree 礦體

Birchtree 礦場由以下礦體組成並於圖 2-5 說明。

- 84 — 84 礦體為圍繞大型超鐵鎂岩的角礫岩，位於礦場南端。礦石處於礦石底壁附近。礦石區域達到 300 英尺（100 米）寬度。超鐵鎂岩南側的礦體等級通常比北端更高。礦體已被 609 及 906 斷層截斷及移位。該礦體為 Birchtree 礦場的主要生產者。906 斷層以上的礦體已被採完。
- 85 — 85 礦體為 84 礦體下部的下傾延伸至 609 斷層止。該礦體亦由超鐵鎂岩構成。
- 108/109 — 108/109 為直線陡峭結構，其寬度範圍從 10 至 60 英尺（3 至 18.2 米）。礦體方向改變令礦石區域拓寬。礦體等級隨著彎位及轉向的北方遞增。
- 124 — 124 礦體圍繞北部超鐵鎂岩。礦石在超鐵鎂岩邊緣一帶都是一層層的。其寬度範圍從 20 至 200 英尺（6.1 至 61 米）。比礦場內其他超鐵鎂岩礦石礦床具更高等級。對 300 水平以下多達 30 英尺（9.1 米）的礦體進行開採。

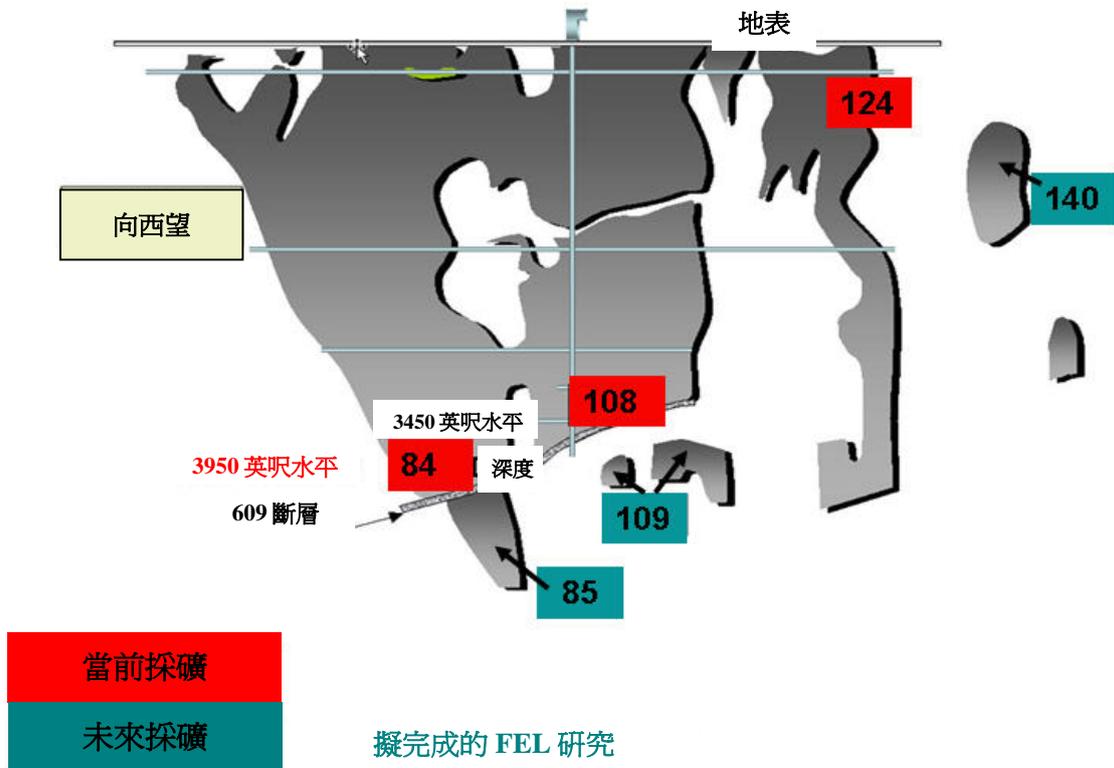


圖 2-5 : Birchtree 礦場縱截面

PGE 礦化作用

近期從 Thompson 礦場 1D 下層礦體所獲的勘探數據表明，隨著硫化礦重新流動且含有變質沉積物，鉑族元素含量提高。對 TNB 的 PGE 含量的評估現成爲 Vale 勘探方法的一部分。目前正在進行若干項研究，以更好地了解 PGE 在結合超鐵鎂岩及含有變質沉積物的硫化礦內的礦化及分佈。

1D 下層數據所顯示的 Pd 與 Ni 的正相關性有利於識別及量化目前鐵礦區內的潛在 PD 資源。關於含有變質沉積物的 Birchtree108 及 109 礦體的 PGE 含量的數據獲取及評估工作目前正在進行。

Golder 進行的地質概況及礦床審查

Vale Inco Technical Services (VITS) 專業地質學家及首席地質學家 Robert Stewart 向 Golder 提供了關於 TNB 基本地質概況及礦床的簡報。此外，首席地質學家及來自各營運公司的礦藏地質學家亦有就 TNB 地質概況及礦床進行了討論。



政府及 Vale 地質學家已確立起完善的 TNB 地層成層情況及礦化作用的結構控制。

評估及增加對地質詮釋及礦產資源評估的把握所用的主要數據收集方法是在勘探及採礦地質人員的指導下進行金剛石岩芯鑽探。鑽探密度隨礦場而異，且用於分辨礦化類型及資源分類等級。

除用來界定礦產資源及礦產儲量的金剛石岩芯鑽進方法外，當礦化帶在地下彙集時，一般以逐輪的方式對礦場進行地質測繪，且合併入 Vulcan 及 Datamine 地質模型中。該測繪與勘探及開發鑽探數據進行比較，以更好地界定計劃開採的儲量。如存在歷史測繪數據，則在剩餘採礦區工作時亦會倚賴該等數據，並將其與近期鑽探進行比較。此外，亦採集開採鑽探（於 Vertical Bench Mining(VBM) 礦山）的探究數據以界定規劃開採區的礦化接觸帶，並對其進行調整以使稀釋最少化或識別拒爆礦化帶。

就各礦化帶（或礦體）所提供的 MRMR 文件審查表明了可能與該地帶相關的當地地質控制，以及其將對儲量及開採規劃產生何種影響。該資料與該等地帶的礦藏規劃者共享，且其在某些情況下更識別出是否需要得到額外數據（詳細測繪及額外鑽探）。

並且，高級地質人員（首席礦藏地質學家）擁有在數處礦藏的工作經驗，且近期亦有輪換到不同礦場工作，使他們有機會分享知識及最佳實務。亦注意到，目前三處礦藏的所有開發鑽探數據由相同的地質學家及技術員收集，他們使各礦藏的地質記錄保持一致。Golder 認為，此三處礦藏的大部分開發鑽探乃由相同的地質學家完成。

合資格人士認為，Vale 對於 Thompson 及 Birchtree 礦場的地質概況及礦床具備充分的知識與理解，且正將該等知識傳授予員工。正收集的地質數據水平已完成，符合認可的行業標準及適用的礦產儲量報告。合資格人士對地質概況及礦床類型所完成的審查未發現任何重大缺點。



2.10 勘探及開發鑽探

曼尼托巴業務採用了兩種鑽探方法。勘探鑽探是對新礦產資源的辨識，而開發或界定鑽探由礦產資源至礦產儲量的資料升級。

表層勘探鑽探是在勘探 TNB 的指導下進行，而地下勘探鑽探是在勘探 TNB 與礦藏地質學家（Thompson 礦場或 Birchtree 礦場）的指導下進行。地下開發鑽探在礦藏地質學家的指導下進行。

金剛石岩芯鑽探尺寸一般是 BQ 及 AQTK。NQ 鑽孔在規劃進行探測地球物理的區域完成。鑽探主要由承包商（大型中西部鑽探）及一個地下 Vale 鑽機完成。

如 MRMR 報告所述，2009 年 1 月 1 日至 12 月 31 日就曼尼托巴業務完成的鑽探為總計 3,856 米的 45 個勘探鑽孔及總計 42,998 米的 422 個開發鑽孔。各礦區的鑽探詳情於表 2-5 中概述。

表 2-5：曼尼托巴業務金剛石岩芯鑽探（2009 年 1 月 1 日至 12 月 31 日）

礦區	勘探		開發		總計	
	鑽孔數量	長度(米)	鑽孔數量	長度(米)	鑽孔數量	長度(米)
3600 水平以上的 Thompson 礦場 1 D	-	-	30	5,182	30	5,182
3600 水平以上的 Thompson 礦場 1 D	24	11,430	50	9,144	74	20,574
Thompson 礦場 T1/T3	-	-	180	9,144	180	9144
Thompson 礦場露天礦坑	9	972	-	-	9	972
Birchtree 礦場超鐵鎂岩	-	-	148	17,096	148	17,096
Birchtree 礦場沉積岩	12	3,856	14	2,433	26	6,289
總計	45	3,856	422	42,998	467	59,256

如 Vale 在巡視礦場時所提供，2010 年 1 月 1 日至 6 月 30 日就曼尼托巴業務完成的鑽探為總計 15,187 米的 30 個勘探鑽孔及總計 27,186 米的 319 個開發鑽孔。各礦區的鑽探詳情於表 2-6 中概述。



表 2-6：曼尼托巴業務金剛石岩芯鑽探（2010 年 1 月 1 日至 6 月 30 日）

礦區	勘探		開發		總計	
	鑽孔數量	長度(米)	鑽孔數量	長度(米)	鑽孔數量	長度(米)
3600 水平以上的 Thompson 礦場 1 D	-	-	57	5,233	57	5,233
3600 水平以上的 Thompson 礦場 1 D	19	10,725	14	2,101	33	12,826
Thompson 礦場 T1/T3	-	-	130	6,187	130	6187
Thompson 礦場露天礦坑	-	-	-	-	-	-
Birchtree 礦場超鐵鎂岩	-	-	111	12,083	111	12,083
Birchtree 礦場沉積岩	11	4,462	7	1,582	18	6,044
總計	30	15,187	319	27,186	349	42,373

2009 年及 2010 年，Thompson 礦場勘探鑽探的主要重心是 Thompson 延伸區或 1D 下層區域（3600 水平以下）。所有該等鑽探正由 3600 水平的上盤平巷開始完成。表層鑽探亦於 2009 年在表層完成，以調查露天礦坑。Birchtree 礦場勘探鑽探的主要重心是位於 609 斷層及 108 及 84 礦體的下傾延伸區以下的 109 及 85 礦體。開發鑽探重心在於界定作為礦產儲量估算一部分的擬開採區域。

合資格人士認為，Vale 的勘探及開發鑽探計劃乃受勘探 TNB 及礦場地質學家的直接控制，且已完成該等計劃，並符合認可的行業標準及適用的礦產儲量報告。合資格人士對勘探及開發鑽探所完成的審查未發現任何重大缺點。

2.11 礦床抽樣方式和數據管理

金剛石鑽孔採樣法

Vale 地質學家在 Vulcan（Birchtree 礦場）和 Gemcom/Datamine（Thompson 礦場）規劃和佈局所有的金剛石岩芯鑽孔井口地點（鑽孔數目、凹陷處、地平經度和長度），並向鑽探隊提供該資料。

一般的岩芯直徑大小是 BQ、有些大小為 AQTW 及 NQ。Thompson 業務有兩個岩芯記錄站：VITS 岩芯站和 Birchtree 岩芯站。VITS 岩芯站記錄所有的勘探鑽孔，而 Birchtree 礦場的中央岩芯處理中心記錄三個礦場（T-1、T-3 和 Birchtree）的全部開發鑽孔。地質學家和技術員（受到地質學家監督）對相同 Gemcom 資料庫系統(MEBS)的所有鑽孔進行記錄和抽樣。勘探和掘進岩芯的採樣流程基本相同，但唯一的不同是，勘探岩芯會被鋸成兩塊且其中半塊會留在 Vale 曼尼托巴業務的岩芯儲存現場，開發鑽孔岩芯樣本則被完全抽樣。



岩芯儲存站分為室內和室外兩種。室內儲礦用於儲存可能受室外環境影響的岩芯（即橄欖岩或超鐵鎂質岩芯）。室內岩芯儲存在曼尼托巴業務工廠東邊的舊管道解凍層內。室外儲存站位於 T-2 回風天井，該天井位於 Thompson 礦場露天礦坑西側主廠的北部。室內和室外儲存站均位於 Thompson 礦場／礦廠區域內，因此未經許可不得進入。

從岩芯記錄站獲得的岩芯由記錄人員（地質學家和技術員）開啓並以英制單位標記。記錄人員記錄全部岩芯，並鑑定和記錄硫化物礦化的相交情況，以備採樣之用。根據岩石類型和硫化物的估計百分比(%NI)選擇樣本層段。在硫化物礦化帶的任何一側至少應採集一份樣本。記錄人員須在擬被鋸成兩半的岩芯（勘探鑽孔）的樣本上標出抽樣切割線作為指示予樣本準備技術員。勘探鑽孔中獲得的全岩芯和半岩芯保留並儲存在室外岩芯儲存區。開採岩芯可供採樣之用，如不採樣，則可丟棄。樣本最小為 3 英吋（7.6 厘米），最大不超過 15 英吋（4.5 米），岩芯的一般長度為 5 英吋（1.5 米）。

岩芯回採率一般為 99% 或更高。目測估計每個鑽探原礦的 RQD 測量值一般為 10 英吋（3.0 米）。目前，在採用 VITS 岩芯記錄站以水置換法得到的密度，收集勘探和掘進鑽探岩芯容積密度（或具體引力）值。收集到的實際堆容積密度值與從鎳金屬和其他分析元素的線性迴歸公式作比較。根據計量的樣本分析元素制定若干公式。

由 Gardewine North Transport (Gardewine) 送往 ALS Chemex 的樣本，每週四送至 Winnipeg，然後在週五由 Gardewine 送至 Thunder Bay。週六樣本抵達 ALS Chemex。送達 ALS Chemex 的還有一張樣本表格，以辨別送達的樣本種類。

在 VITS 和 Birchtree 岩芯記錄站採用品質保證／品質控制(QA/QC)抽樣協議流程。該流程由下列各部分組成：

- 所有岩芯記錄資料儲存在安全的 Gemcom 特定記錄程式中。
- 每個採集的樣本均有一個獨一的樣本編號。
- 每個樣本在裝運前均需稱重。
- 在岩芯箱內貼上金屬標籤，並在岩芯箱末端註明鑽孔編號、箱子編號和長度。金屬標籤僅可貼在勘探鑽取的鋸過的岩芯及全岩芯上，並永久儲存在 Vale 的物業內。
- 拍下濕及／或乾岩芯數碼相片。
- Vale 地質學家或技術員在每 100 份樣本中插入空白樣本和兩個 Thompson 鎳標準樣本。



- 樣本被送至安大略 Thunder Bay 的 ALS Chemex，以供樣本準備之用，並在溫哥華 ALS Chemex 完成分析工作。
- Vale 地質學家要求每月對粗粒複製樣本重新進行含量測定。全部粗粒尾礦樣本中大約 3% 的樣本將在溫哥華 ALS Chemex 重新進行含量測定。
- 全部礦漿複製樣本中約 2% 的樣本將重新進行含量測定。樣本由 Vale 地質學家選擇，以監控 QA/QC，並送往 Lakefield 的 SGS。

作為審核的一部分，Paul Palmer（專業工程師兼專業地質學家）考察了 VITS 和 Birchtree 岩芯記錄站。在考察過程中更與工作人員觀測和討論岩芯記錄、岩芯定位(VITS)抽樣、鋸割設備、數據庫輸入、容量密度測試(VITS)、QA/QC 樣本插入、數碼相片和樣本監管鏈程序。

合資格人士認為，在 VITS 和 Birchtree 岩芯記錄站採用的岩芯記錄和採樣收集方法受 Vale 的監控，符合認可的行業標準，適合用於礦產儲量報告。合資格人士對金剛石岩芯鑽孔採樣法所完成的審查未發現任何重大缺點。

樣本準備及樣本分析

地面上的安全設施採集的所有鑽孔岩芯樣本被運至 ALS Chemex 實驗室。從曼尼托巴礦場收集的樣本（開發樣本）和 VITS（勘探樣本）將由 Gardewine North Transport 運至安大略 Thunder Bay 的 ALS Chemex 樣本準備設施。如工作量繁重（可能延遲處理曼尼托巴業務的樣本），Thunder Bay 的準備實驗室可將樣本運至 Sudbury 的 ALS Chemex 站。所有曼尼托巴業務的樣本是由在英屬哥倫比亞北溫哥華的 ALS Chemex 分析設施進行。

Vale 可取得樣本準備 QC 的結果，並且可在 ALS Chemex 網站上瀏覽。分離出的 100 克礦漿被運至英屬哥倫比亞北溫哥華的分析設施。

目前使用 ME-ICP81 程序對所有的樣本進行銅、鎳、鈷、鐵、硫、砷、鉛和鋅分析。如有要求，ME-ICP81 程序也會報告氧化鈣、氧化鎂以及二氧化矽的分析。任何超過分析範圍的樣本均會使用定量法重新進行含量測定，以獲得所有相關元素的最終結果。

ALS Chemex 是經認可的實驗室，執行嚴格的 QA 及 QC 實驗室之間檢測程序（包括樣本準備及分析）。完成定期內部審核以確保遵守書面紀錄程序。

ALS Chemex 內部品質控制包括標準樣本、空白樣本以及分析副本。共同分析組合(ME-ICP81、PGM-ICP23、PGM-ICP27、As-AA45、Pb-AA45、ME-ICP61)中得出的標準及副本結果按月進行編輯。

2009 年及 2010 年，Vale 為 Golder 完成了 ALS Chemex 廠位於 Thunder Bay、Sudbury 及溫哥華的，四項實驗室的審核。審核期間，Vale 員工審查了樣品準備及分析所採納的實驗室程序。然後將這些程序與執行這些任務的 ALS Chemex 員工的觀察結果作比較。Vale 員工每年均對實驗室進行審核。Golder 查看了 Vale 的該等審核備忘錄，並與 Vale 員工討論，表明審核期間觀察到的實驗室程序、設施、設備以及員工的表現均令人滿意。ALS Chemex 亦已提出各方面的問題。



合資格人員認為，樣本準備和分析項目已得到充分紀錄，並已按書面協議進行系統化實施，定期按實施和完成的建議審核，並認為其符合認可的行業標準，適用於礦產儲量報告。合資格人士對樣本準備和分析所完成的審查未發現任何重大缺點。

鑽孔數據庫

曼尼托巴業務及鎳礦帶鑽孔記錄的完整目錄以數碼及紙質複印件的形式儲存。數碼資料儲存在一個安全的鑽孔數據庫管理系統中，即 MEBS（礦藏勘探鑽孔系統）。

該 MEBS 系統是載列約 42,200 個鑽孔及相關工程孔的 Microsoft Sequel Server (SQL) 數據庫。Gemcom Network Edition 軟件是地質數據庫管理員的功能界面。該系統可就執行地質及工程相關的勘探及開採功能輕鬆使用與 Gemcom、Datamine 以及與 SQL/ODBC 兼容的其他 Windows 軟件。

Vale 地質學家及數據庫技術員管理 MEBS 數據庫功能，包括安全進入授權、含量測定合併、鑽孔鎖定、數據完整性、驗證以及定期備份。為所有鑽孔資料包括標題、測量、岩性學、含量測定以及結構數據進行數據驗證。

Golder 完成了對 Glen House 及 Joan Ledwos 的會談，這兩位負責監控初始數據輸入及控制輸入 MEBS 系統的含量測定數據。會談期間，了解到記錄數據輸入觀測、試算表審查以及 QA/QC 數據輸入的每月備忘錄標示差異，並了解到如何解決這些問題。

合資格人士認為，曼尼托巴業務所採用的鑽孔數據庫系統受到極佳控制，並符合認可的行業標準，適合於礦產儲量報告。合資格人士對鑽孔所完成的審查未發現任何重大缺點。

樣本數據驗證及 QA/QC

Vale 已開發出一個全面的 QA/QC 議定程序，該程序由公司開發，目前由 Glen House 在曼尼托巴業務實施，並得到位於 Sheridan Park 的公司 QA/QC 員 Sasa Krstic 支援。

由 ALS Chemex 提供的所有樣本分析數據，將由專職數據庫協調員(Joan Ledwos)登錄 MEBS 數據庫中。登錄時採用了重複條目檢查系統。Glen House 比較 MEBS 的輸出與 ALS Chemex 以 Microsoft Excel 試算表提供的電子 csv 檔案（即 March Data Validation_final.xls），以確認由數據庫協調員按月登錄數據。核心記錄技術員測量的樣本重量以及地質學家的鎳和硫的估值，與 ALS Chemex 提供的實際值進行了比較。報告了顯著差異，可能需要跟進以確定是否存在任何混合樣本的情況。



Vale的QA/QC項目包括監測ALS Chemex的內部品質控制樣本、監測Vale內部標準的結果以及在第三方實驗室(SGS Lakefield) (包括Vale控制實驗室) 隨機抽樣檢查分析。2009年開始, ALS Chemex裝運中增加了空白樣本。最初僅將標準樣本和礦泥複製樣本一起運至SGS Lakefield。2010年初, 曼尼托巴業務開始將空白樣本和兩個標準樣本(每100個樣本) 運給ALS Chemex。

在2009年5月前, 每月數據驗證一直由公司首席化驗師(Herb Mackowiak)進行; 但從2009年6月開始, 數據驗證的職責轉交給曼尼托巴業務的地質學家(Glen House)。一份由Herb Mackowiak製作的文件概述了QA/QC項目(Thompson QA/QC Document, 2009年)。

QA/QC項目的月度報告由Glen House完成, 並納入單獨的Microsoft Excel試算表中(Thompson 2010 Checks.xls)。對所有樣本問題進行了調查, 如需要可要求重新分析或記錄記項更正的日期。在徹底調查前, 不得將有問題的樣本錄入數據庫中。完成了鎳、銅、鐵、硫、鈷、砷和氧化鎂的分位數分佈圖和相對差分佈圖。2010年1至3月複製樣本數據中, 鎳等級的分位數分佈圖和相對差分佈圖於圖2-6和圖2-7內概述。

總而言之, Vale完成的外部檢查分析結果顯示2008年和2009年上半年的分析準確和精確的程度足夠。唯一例外的是鈷, 顯示負偏離(部分原因是檢查室的探測限制提高)及精確度增加, 達到95%的置信水平, 高於合約規格。ALS Chemex跟進了這兩個問題(Krstic, 2009年)。

審查Vale提供的2009年QA/QC數據, 發現「失效」的數量增加(這些樣本的差異大於預期差異)。大部分失效樣本來自一個似乎抽取壓壞的樣本的預備區。為了減少失效樣本, 已對加工區實施整改(Krstic et al., 2009年)。

分析副本(大塊尾礦)的結果顯示精確度通常在預期值內。分析副本亦顯示硫精確度高於可接受的精確度, 表明硫的實際探測限制高於ALS Chemex所說的0.01%。ALS Chemex結果顯示銅、鎳、鐵和硫的內部標準的偏差很小。外部檢查結果中未發現銅或鎳偏差(Krstic et al., 2009年)。

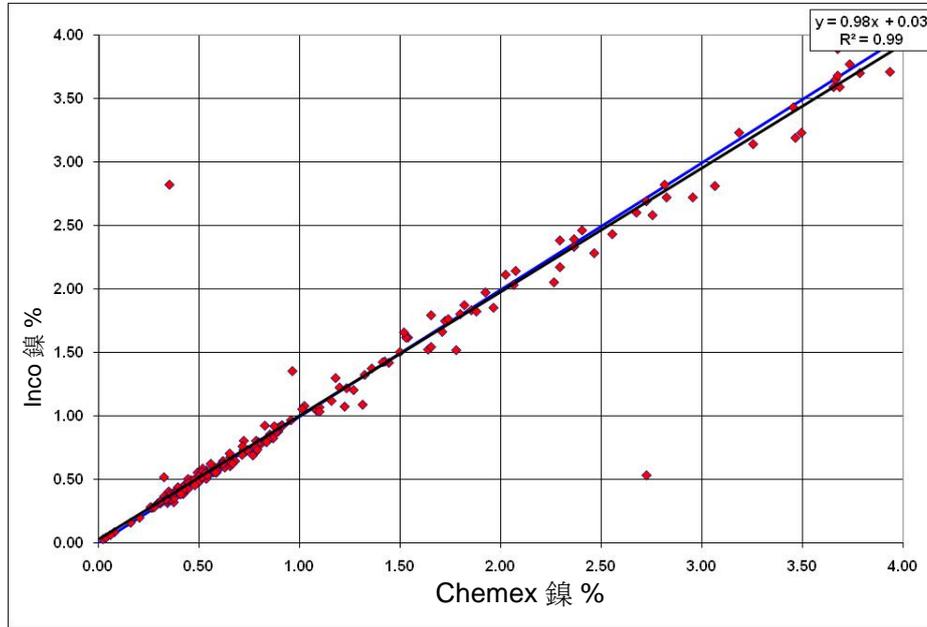


圖2-6：鎳複製樣本的分位數分佈圖—2010年1至3月(Thompson 2010 Checks.xls)

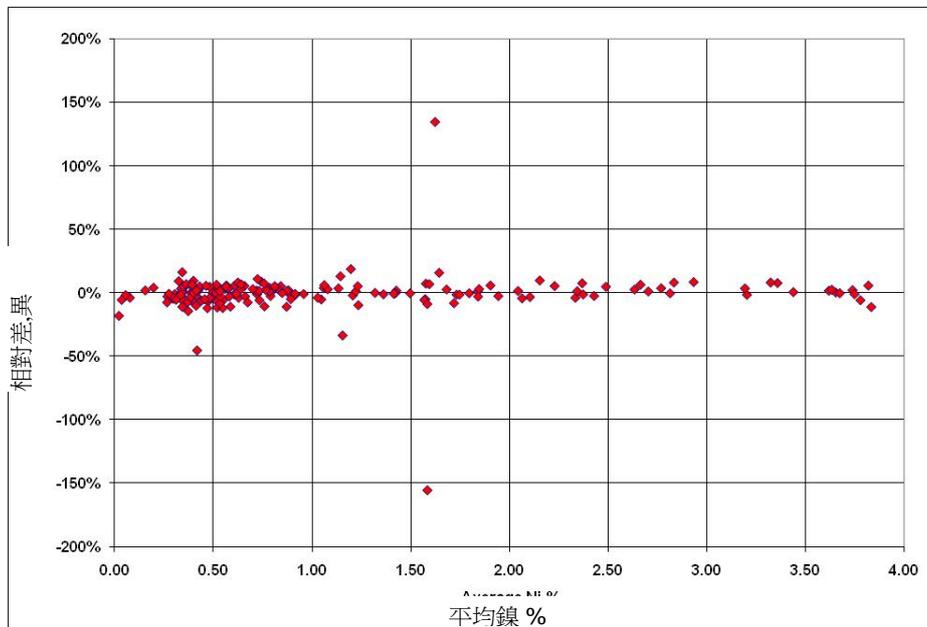


圖2-7：鎳複製樣本的相對差異圖—2010年1至3月(Thompson 2010 Checks.xls)



近期與 ALS Chemex 批量樣本一起運輸的標準樣本和空白樣本未予以編製，亦未編製繪圖。審查了載有 2010 年 1 至 5 月空白數據的 Microsoft Excel 結算表(QUU QC for blanks.xls)，並未發現任何重大污染。曼尼托巴業務在 2010 年運輸的標準數據將依然由地質人員編製，且 Golder 尚未進行審查。Vale 公司首席化驗師(Herb Mackowiak)提交的先前標準樣本審查，已以 Microsoft Excel 結算表(Inco QC External Check.xls)呈交予 Golder。結算表載有 20 多個標準樣本（及 1,000 多個化驗樣本），而該等樣本多次被用於檢查鎳精度。有少數樣本失效（共有約 30 個樣本），但結算表中沒有繪圖片或顯示有否跟進。在對 Vale 的 ALS Chemex 實驗室完成的核數的審查中，提到污染問題和鈷分析相關問題已經解決。

合資格人士認為曼尼托巴業務中應遵循 QA/QC 項目，並識別潛在錯誤（和預期一樣）。識別錯誤後正予以更正。內部文件處理流程顯示定期檢查的 QA/QC 樣本數據，以及識別有關更正行動的地方所進行的分析室的年度審核。QA/QC 項目已完成，符合認可的行業標準並適用於礦產儲量報告。對樣本核證和合資格人士進行的 QA/QC 計劃的審查未發現任何重大錯誤。

2.12 礦產資源評估

礦產資源評估簡介

曼尼托巴業務的 MRMR 評估每年報告一次（日期為 12 月 31 日）。礦產資源首先由熟悉開採區的礦場地質師開發。礦產資源隨後被提供予負責礦區的採礦工程師，經過適當開採以後，礦產資源轉變成了礦產儲量。如果將要轉變的礦產資源是一個露天礦坑資源，採礦工程或會由外部顧問設計。並不是所有的礦產資源都能轉變成礦產儲量。

為了審查 Vale 刊發的礦產儲量聲明，Golder 審查了曼尼托巴業務礦產資源以及 Birchtree 和 Thompson 礦場所採用的礦產儲量估算方法。礦場中採用的一般估值方法概述於為 Birchtree 和 Thompson 礦場編製的 MRMR 文件中（Proulx 和 Yamada，2009 年以及 Mayor 和 Kelly，2009 年），並根據 National Instrument 43-101 報告程序刊發。此外，地質學家評估的各個地區都編製了單獨的 MRMR 報告。該等單獨的 MRMR 報告詳細描述了鑽洞檔案、地質模型、區塊模型（褶皺和未褶皺）、容量密度公式、估值參數和 Datamine Scripts 概要。Vale 提供的 MRMR 報告如下：

- Thompson 礦場 1D 下層下盤深層（G. House，2008 年 9 月）；
- Thompson 礦場 1D 下層南部（G. House，2008 年 5 月）；
- Thompson 礦場 1D 下層北部上盤（B. Bilton，2006 年 12 月）；
- Thompson 礦場 800 水平 3-切斷帶殘礦區域（H. Davidson，2010 年 1 月）；
- Thompson 礦場 2400 水平北部殘礦區域（H. Davidson，2009 年 10 月）；
- Thompson 礦場 234/236 殘礦區域（H. Davidson，2009 年 5 月）；



- Thompson 礦場礦產資源礦產儲量 (A. Proulx 和 P. Yamada, 2009 年) ; 及
- Birchtree 礦場礦產資源礦產儲量 (T. Mayor 和 C. Kelly, 2009 年) 。

曼尼托巴業務的 MRMR 報告中採用了兩種塑建估算方法：

- 區塊塑建估算方法，使用 Datamine® Studio 2 軟件，Release 2.1.1633.0 完成。區塊建模法估計有約 89%的礦產儲量和 99%的礦產資源。
- 多邊型模型估計方法，綜合運用 Excel、Auto-CAD 及／或 Datamine 軟件。

曼尼托巴業務區塊塑建法

曼尼托巴業務的區塊塑建估算方法採用三維地質詮釋，並創建礦體包絡面，幫助評估報告為礦產資源的三維區塊模型中等級和噸位。負責人(RP)監督或直接進行礦產資源評估(包括地質詮釋、模型詮釋、等級分佈等)。在整個過程中，礦區區塊塑建評估的同儕或高級審查由另一名地質學家(高級或首席地質學家)完成，並予以記錄及簽署為已審查。

其中的第一步是將地質數據的詮釋納入三維礦體包絡面中。曼尼托巴業務中，鎳硫化物和主岩都因同樣的事件而發生結構變形。結構和主岩岩相學定位乃根據主岩岩相學定位和後續結構變形進行詮釋。鑽井資訊是主要數據，但通常輔以岩相學和結構測繪，而結構測繪採用定位岩芯測量和井下地質調查。有些情況下，在勘探計劃早期已開展跨孔地震層的斷層攝影調查，以確定礦化的整體定位、形狀和範圍。負責人在截面和計劃中以視覺方式對礦體包絡面的三維詮釋進行驗證。該驗證確保礦體包絡面和支持數據符合當地地質詮釋。該礦體包絡面表示的是受自然礦化過程影響的區域，本階段並不受經濟標準(比如最小可採厚度或等級下限)的限制。

所有相關數據和觀察都納入各個礦化區的三維地質模型中，因為各區各具特色，需要根據礦化類型(UM 或沉積岩型)或結構修改／增加程序。對礦化模型進行檢查，以確保與礦化過程一致，以及等級沒有因為假設複雜的詮釋而被誇大。在週邊地區，由於地質資訊有限，故制定了外推礦體包絡面的一致準則(即通常為鑽孔間距的四分之一)。

影響礦體的具體地質特徵(比如斷層和褶皺軸)亦被用與分隔礦區(包絡面)。斷層被單獨塑模，並被用來界定斷層相交時礦體包絡面模型的限制。這些特徵通常被建模成依據製圖和鑽洞詮釋的三維表面。



曼尼托巴業務建模的所有礦物包絡層受到岩性、結構及／或 0.20% 鎳最小分析值的限制。

如必要，可展開數據（使用 Datamine）以控制等級隨著地質走向延伸。選擇一種適合於地質統計數據的估算方法（例如：不均勻區塊多種指示克里格法）。依據曼尼托巴業務標準及服從行業最佳實務，完成了曼尼托巴業務各礦化區礦物包絡層的樣本選擇、樣本合成、統計及地質統計特點的核查及驗證。資源模型的最終驗證包括對缺乏整體或局部偏差的目視檢查及系統驗證。此外，運用標準的行業慣例處理平滑及體積變化問題。在某些情況下，開發模擬模型以更準確地說明金屬品位的小範圍變動。唯有受塊狀建模估算訓練的 Vale 地質學家驗證了分塊模型，外部顧問亦已事先審核了礦藏資源的估算方法。完成採空區的調節研究以核查多邊形（最鄰近）估算結果，以及資源和儲量估算中使用的地質統計法。

目前曼尼托巴業務通常不報告估算的礦產資源，分塊模型直接用於採礦計劃和儲量估算。當報告一項估算礦產資源時，資源邊界等級是基於採礦、加工及推廣產品的運營成本及管理費用的一部分。加工、管理及推廣的費用從各塊回收金屬的價值中扣除，以在採礦前確定「礦石價值」。已選擇的採礦方法所用的採礦費用將與金屬的價值作對比。當礦石價值一定高於採礦成本時（包括遠至礦場的運費），使用持平的邊界值。礦石價值是根據工廠的金屬回收及長期的金屬價格及匯率推測來確定。使用淨處理返回公式(NPR)計算價值。

曼尼托巴業務多邊形估算法

曼尼托巴業務多邊形估算法採用如下步驟：

- 建立標準的等位組別及等級-英尺標準以確定礦床帶。
- 用礦脈接觸角計算鑽孔交叉處礦脈的真實厚度（注意：資源計算不包括真實厚度不足 6 英尺的礦脈）。
- 確定影響區域，即鑽孔間距的一半。
- 依據各鑽孔所有礦脈交叉的計量長度平均等級，將等級分至各多邊形。
- 用校正傾斜的多邊形區乘以脈礦交叉的總真實厚度計算體積。用平均計量密度乘以與各多邊形體積計算噸位。

根據將要使用的開採方法的最低開採面，單獨計算各礦體的內部貧化。

表 2-7 及表 2-8 概列了 Thompson 和 Birchtree 礦場的多邊形參數。



表 2-7：Thompson 礦場多邊形參數

區域	礦體	縱向(L) 斷面的(S)	密度加權	使用貧化	使用回收
1D 高於 3600	2400 - 3500	S	Y	Y	Y
	3500 - 3600	S	Y	Y	Y
T1/T3	T1-1A：800 - 1400	S	Y	Y	Y
	T1-1B：600 - 1400	S	Y	Y	Y
	T1-2 號凸頭 3:800 - 4000	S	Y	Y	Y
	T1-3 切斷：600-1200	S	Y	Y	Y
	T3 -1C	S	Y	Y	Y
露天礦坑	頂部殘礦	S	Y	Y	Y

表 2-8：Birchtree 礦場多邊形參數

區域	礦體	縱向(L) 斷面的(S)	密度加權	應用上部掏槽	使用貧化	使用回收
殘礦	300 水平 115 礦體冠	S	N	N	Y	Y
	700 水平 74/96 礦體冠	S	N	N	Y	Y
	900 水平 108 礦體冠	S	N	N	Y	Y
	1100 水平 102/108 礦體冠	S	N	N	Y	Y
	1300 水平 108 礦體冠	S	N	N	Y	Y
	2300 水平 91 礦體冠	S	N	N	Y	Y

Thompson 和 Birchtree 分塊模型礦藏資源估計

Data Validation 數據驗證

通過比較地質學家對實質金屬分析各間距的等級估算，檢查鑽孔化驗數據的準確性。策劃鐵比鎳及硫比鎳圖表以觀察任何潛在分析問題或離群值。完成剖面鑽孔目視檢查以確保鑽孔井口地點以及井下測量資料的可靠性。密度值也取決於盡職審查，當缺乏模型值或對模型值有疑問時，則根據鎳（及其他任何可用於計算密度的元素）的測驗值運用一種迴歸公式。將不一致的數據報告數據管理員，並在建模前作校正或刪掉。

地質詮釋

所有相關數據及觀察都合併入三維地質模塊里。影響礦體的具體地質特徵（比如斷層和褶皺軸）亦被用與分隔礦區（包絡面）。當斷層交叉時，對斷層分別建模並用於界定建模礦物包絡層的極限。從繪圖及鑽孔可以確切地得出這些軸的位置及走向。這些特點通常是作為三維模型表面。

目前 Thompson 礦場所顯示的最突出的結構是出現在 1D 礦體的衝斷層褶皺軸。Birchtree 目前最突出的結構是 609, 780, 906 及 1080 斷層以及從 3300 水平到 3075 水平之間的翻轉地段。

礦物包絡層受到岩性、結構及/或 0.20%鎳最小分析值的限制。

對礦化模型進行檢查，以確保與礦化過程一致，以及等級沒有因為假設複雜的詮釋而被誇大。在週邊地區，由於地質資訊有限，故制定了外推礦體包絡面的一致準則（即通常為鑽孔間距的四分之一）。



樣本選擇與組合

所有位於礦化圍岩區域內的鑽孔測定均已襲奪。樣本清晰可見，以確保位於礦區內的所有樣本均已被選擇。對礦區線框進行調整，以襲奪在起初選擇中遺漏的任何樣本。

繪製襲奪樣本的樣本長度柱狀圖，以確定模式和平均樣本長度。隨後樣本根據取決於樣本長度分佈的模式長度或平均長度進行組合，以便減少估算所需的計算數目。組合樣本長度的選擇通常是協調常規樣本長度與預計選擇的開採單位。通常使用 5 英尺的樣本組合長度。Thompson 和 Birchtree 礦場各礦產資源區的組合長度概列於表 2-9 和表 2-10。

表 2-9：Thompson 礦場塊體模型詳情

區域	礦體	組合長度 (英尺)	密度加權	應用上部掏槽	塊體大小 (英尺) (X,Y,Z)
1D (3600 以上)	1D 上層	5	是	否	10×10×10
1D (3600 以下)	376 回採工祖 ¹	5	是	否	5×5×5
	CAR 602 ¹	5	是	否	5×5×5
	南	5	是	否	10×15×15
	北	5	是	否	10×15×15
1D (4200 以下)	下層上盤 ³	5	是	否	10×15×15
	下層下盤 ²	5	是	否	15×15×15
	北面下層(上盤) ⁴	5	是	否	15×15×15
T1/T3	T-3 315 回採工祖	5	是	否	10×10×10
	1-B (2400 水平以下)	5	是	否	10×15×15
	T-1 Div1	5	是	否	10×10×10
露天礦坑	1AB	10	是	否	10×10×10
	1C	5	是	否	20×20×20
	1D	5	是	否	10×10×10

附註：

1. 依據中位值模擬模型
2. 依據受 376 回採工祖和 CAR 602 可行性研究的有條件模擬結果影響的 IK 塊體模型
3. 依據潛在線框內的 IK 模型（方差校正為 20x30x30 的塊體）
4. 依據 NN 模型（方差校正為 30³ 的塊體），受 Golder PF 研究的北向延伸結果的影響

表 2-10：Birchtree 礦場塊體模型詳情

區域	礦體	組合長度 (英尺)	密度加權	應用上部掏槽	塊體大小 (英尺) (X,Y,Z)
超鎂鐵岩	84 礦體上層	05	是	否	10×20×20
	84 礦體中層	05	是	否	10×20×20
	84 礦體下層	05	是	否	10×20×20
	85 礦體	05	是	否	20×20×20
	124 礦體頂部	05	是	否	5×5×5
沉積	108	05	是	否	10×15×15

未經測定的樣本假設為採空區並指定 % 鎳品位為 0.01 且默認密度為 0.089 噸 / 立方英尺。



數據分析與頂切

塊體建模前，須進行組合數據庫審查。就組合數據庫中的各種元素展開單變量及雙變量統計調查。同時會就外圍數值和主要統計參數對數據庫進行檢查。審查樣本數據記錄以確定並修改樣品空間位置中的錯誤。

開展

由於礦化的空間分佈通常受到許多控制因素（如先前存在的下盤地形、區域變薄及隆起、褶皺及斷層）的影響，實際地質距離很少會與 XYZ 笛卡兒坐標距離重疊。為獲取適當參考系統以衡量樣本與內推品位分佈之間的空間連續性，通常會建立新的參考系統。這與地質建模軟件展開模型一同完成。

為調整大部分礦體的不規則形狀，樣本檔案會被展開。展開將各樣本間隔轉化為一系列展開字串界定的展開坐標系統(UCS)。展開字串沿下盤及上盤接觸面繪製，在東-西和北-南方或計劃方位均使用區域線框，用於界定褶皺、形狀不規則的接觸面及礦石傾斜的地質特徵。展開樣本隨後在 YZ 平面目視檢查，以確保它們根據地質詮釋展開。展開亦可幫助減少在模型上不良鑽向樣本的影響。

展開模型憑藉將展開模型各種數值的整體平均值（如鎳）與未展開模型的相應參數進行比較得以證實。

變異圖分析

樣本之間的空間變異由各種金屬（鎳及／或銅）的品位變異圖模型以及密度確定。展開坐標系統內計算而得的對稱相對變異為各模型提供基礎。

各向異性在礦化的傾斜平面並沿展開坐標系統內的若干傾斜軸進行檢測。如果主要礦化呈現傾斜情況，則旋轉可能適用於變異圖分析。

變異圖通常用於剪切及礫狀礦化。地下地質觀察（Babulic，2005 年和 House，2005 年）得以證實變異圖的金塊含量高、範圍較小且各向異性輕微。

為透過密度適當衡量品位，創建了 QNi 服務變量（鎳的數量； $QNi = \text{鎳} \times \text{密度}$ ）。

透過金塊效應的線性合併及最多三個（通常為兩個）球形結構的合併，對 QNi 品位變異圖進行建模。代表大部分共變異數的變異圖範圍通常用於界定搜索範圍及搜索橢圓的各向異性比率。用於 Thompson 和 Birchtree 礦場礦產資源評估的變異圖搜索參數概列於表 2-11 和表 2-12。



表 2-11：Thompson 礦場搜索橢圓容積（英呎）

區域	礦體	X (交叉傾斜)	Y (邊沿走向)	Z (向下傾斜)
1D (3600 以上)	2400 水平以上	26	100	100
1D (3600 以下)	376 回收礦房	30	114	114
	CAR 602- (下盤)	58	138	146
	CAR 602- (S_下盤)	48	110	110
	CAR 602- (S_中層)	35	150	150
	CAR 602- (上盤)	48	110	110
	南 (上盤)	45	120	140
	南 (下盤)	60	210	220
	北 (上盤)	42	108	108
1D (4200 以下)	北 (下盤)	50	160	150
	下層 (上盤)	35	176	176
	下層 (下盤)	45	250	210
T1/T3	北面下層 (上盤)	32	150	150
	T-3 315 回收礦房	50	100	100
	1-B (2400 水平以下)	33	100	100
露天礦	T-1 Div1	60	180	180
	1AB	57	150	140
	1C	20	50	75
	1D	24	93	119

表 2-12：Birchtree 礦場搜索橢圓容積（英呎）

區域	礦體	X	Y	Z
超鐵鎂岩	84 礦體上層	30	125	150
	84 礦體中層	67	143	119
	84 礦體下層	30	125	150
	85 礦體	68	135	135
	124 礦體頂部	95	50	160
沉積	108	40	120	120

塊體大小測定

根據各礦區的金剛石鑽孔密度及最小開採單位(SMU)相結合選擇塊體大小。SMU 通常代表最小爆破規模，是採礦方法及任何特定礦體所用的採礦設備規模的函數。曼尼托巴業務使用的塊體體積最小為 5 英呎 x5 英呎 x5 英呎，最大則可達 20 英呎 x20 英呎 x20 英呎。在大量超鐵鎂岩相關的礦區的整個 Thompson 和 Birchtree 礦場中使用主體採礦法(VBM)。充填選擇性開採法用於 Thompson 礦場的 1D 下層礦體和 Birchtree 礦場的薄礦脈沉積礦區中。用於各礦體的塊體模型大小概列於表 2-9 和表 2-10。



最鄰近的塊體模型

高品位區域的樣本往往會優先採集，因為鑽探策略重點強調確認高品位礦化的存在性及程度。透過建造最鄰近(NN)的塊體模型對數據進行分塊，以確定各樣本的相對重要性（重量）。

NN 塊體模型是為所有礦體而建立。程序包括獨特多邊形的品位分佈，其體積與容積取決於其與最近的樣本的接近程度。如果一個區域大量採集樣本，則相比樣本採集分散的區域而言，各樣本將代表較小體積。因此各樣本的相對重要性與各樣本估算的物質體積成正比。

NN 模型估算的噸位和品位屬於初步資料；它們反映整體礦產藏量且無需反映及支持礦產資源。然而，它們在品位估算階段協助檢查整體偏差。

內推法

多種指示克立格法(MIK)是大多數 Thompson 礦體的優先內推法，因為其比普通克立格法(OK)更易於處理傾斜的品位分佈。

憑藉 MIK 估算方法，樣本被分為品位組別（來自 NN 模型）且會估算塊體品位高於各品位組別的概率。使用基於八分儀方法的橢圓搜索體積。搜索體積與容積由變異圖模型界定，基於各個方向的第二個或第三個結構的最大範圍作出。對每次估算使用的樣本數目設定最小及最大值並對各鑽孔使用樣本的最大數目進行限制。經確定的任何負克立格重量被視作無關重要且無須調整。金屬品位隨後透過將概率（來自克立格模型）乘以各品位組別的平均品位（來自 NN 模型）重新設立。

Birchtree 礦場的 84 中層礦體和 Thompson 礦場 CAR 602 區域（3600 – 4200 水平，向北延伸 36800 – 38400）中的 1D 下層礦體估算使用有條件模擬。有條件模擬被視作是在較少鑽探區域（即早期勘探區域）評估礦產資源的一種合理方法並概述原位品位變化及可恢復的噸位和品位範圍。選擇噸位和品位的中位數範圍，以代表有條件模擬。使用相同的礦區進行有條件模擬，且樣本數據庫用於組成克立格塊體模型（包括利用展開運算法則將笛卡兒坐標距離轉換成「地質」距離）。



用於 Thompson 和 Birchtree 礦場的地質內推法概列於表 2-13 和表 2-14。



表 2-13：Thompson 礦場地質內推法

區域	礦體	內推法	使用展開	方差校正	核對
1D (3600 以上)	2400 水平以上	指示克立格法	是	對數正態	是 ¹
1D (3600 水平以下)	376 回收礦房	有條件模擬法	是	不適用	是 ²
	CAR 602	有條件模擬法	是	不適用	是 ⁶
	南	指示克立格法	是	對數正態	否
	北	指示克立格法	是	對數正態	否
1D (4200 水平以下)	下層	指示克立格法	是	對數正態	否
	北面下層 (上盤)	指示克立格法	是	對數正態	否
T1/T3	T-3 315 回收礦房	指示克立格法	是	對數正態	是 ³
	1-B (2400 水平以下)	指示克立格法	是	對數正態	是 ⁴
	T-1 Div1	指示克立格法	是	對數正態	是 ⁷
露天礦	1AB	指示克立格法	是	對數正態	是 ⁵
	1C	指示克立格法	是	對數正態	是 ⁵
	1D	指示克立格法	是	對數正態	是 ⁵

附註：

1. 依據 1D B 區域的類比核對
2. 依據中位數模擬法與回收礦房的開採驗證的核對
3. 依據高於 2200 水平的 T-3 315 的回收礦房模型與開採記錄和回收礦房測繪的核對
4. 依據 1B 模型與礦廠驗證的核對
5. 依據 1B 礦坑模型與礦廠驗證的核對
6. 依據 602 第一次切割開採量與原來的儲量估算值的核對
7. 依據 SED 模型與礦廠驗證的開採完畢部分的核對

表 2-14：Birchtree 礦場地質內推法

區域	礦體	內推法	使用展開	方差校正	核對
超鐵鎂岩	84 礦體上層	指示克立格法	是	對數正態	是
	84 礦體中層	指示克立格法	是	對數正態	否
	84 礦體下層	指示克立格法	是	對數正態	是
	85 礦體	指示克立格法	是	對數正態	否
	124 礦體頂部	模擬法	是	否	否
沉積	108 礦體	指示克立格法	是	對數正態	是

模型驗證

執行若干檢查以驗證最終資源的分塊模型。第一步，須就模型的連續性及品位價值評估與就近的已知樣品點進行目測比較。如有重大差異須予以調查。

驗證程序第二步，是評估模型中是否存在（或缺乏）整體偏差。分塊模型的整體品位評估須與樣本的整體品位評估相似，如有任何差異須進行調查並予以解決。

驗證的第三步，是將插值法所得的分塊品位分佈的方差與透過離散方差計算所得的分塊內的預計方差進行對比。該離散方差是利用變異圖模型計算而得。倘若鑽探密度不足以使礦體內部發生變化，用迴歸法（例如克立格法）



所得的品位變化可能過於平滑且產生的分塊品位分佈低於預計的方差。利用過於平滑的模型可能導致在給定的邊界，可回收資源的評估有條件地發生偏差。平滑的程度被稱為平滑比率。

2009 年礦產資源評估中所有 Thompson 及 Birchtree 的分塊模型均已依據間接對數正態修正（Isaaks 和 Srivastava，1989 年）對方差予以修正。

Thompson 和 Birchtree 礦場礦產資源聲明

對作為礦產資源的物料進行評估及分類的一般標準如下：

礦產資源的噸位及品位以最小可採厚度為依據。Thompson 礦場採用混合回收(VBM)的可採厚度為 20 英尺，而 Birchtree 礦場則為 30 英尺。兩個礦場均以 15 英尺作為選擇性開採法（填充開採）的最小可採厚度。倘若礦化區小於最小可採厚度，資源評估須包含達到最小厚度所必須的計劃的稀釋過程。

礦產資源的噸位及品位亦包括內部廢物區，而該等區域不被隔離。

除上述兩種情況外，在假設 100%提取（可開採性為 100%）的情況下，礦產資源評估不包括任何額外的外部稀釋物料（即稀釋率為 0%）。

邊界品位已用於推斷的、控制的或探明的礦產資源的物料分類。該等邊界以評估的擬採礦和加工方法的成本為依據，且即使支持細節較少，仍以與評估礦產儲量相同的方式進行評估。

用於對推斷的、控制的或探明的礦產資源進行分類的具體標準如下。須注意，該等標準乃屬公司參照標準而非行業標準。對於礦產資源分類的最終決定有待礦區或礦體負責人作出專業判斷。如與公司參照標準發生任何重大偏離，須在技術報告中予以討論及解釋。

推斷的礦產資源

估算推斷的礦產資源的數量及品質時，會以地質證據和有限的採樣，以及合理假設（但未獲證實）的地質及品位連續性為準則。

Thompson 礦場擁有 100 英尺或更大的鑽探空間，而 Birchtree 礦場的鑽探空間為 200 英尺，這足以將評估的物料歸類為推斷的礦產資源。Vale 公司用於定義推斷的礦產資源鎳業務線的指引亦就全球可回收金屬、噸位及品位提出了±15%的可信度水平。

控制的礦產資源

估算控制的礦產資源的數量及品質時，會以詳細可靠的資料為準則，例如是經由鑽孔（鑽孔間隔足夠近，便於合理推測地質及品位連續性）取得的資料。



在 Thompson 礦場，作為控制的礦產資源進行評估的物料的鑽孔間隔範圍為 50 英尺到 100 英尺，而在 Birchtree 礦場，鑽孔間隔範圍為 40 英尺到 200 英尺。在鎳業務線（用於定義控制的礦產資源）層面上，Vale 公司守則列明，就可回收金屬、噸位及品位而言，實現一年的產量所需覆蓋的面積或體積須達到 $\pm 15\%$ 的可信度水平。

與證實成本評估及其他經濟參數的預可行性研究及／或可行性研究有關的控制的礦產資源歸類為可能礦產儲量類別。可能礦產儲量類別亦包括未計劃的稀釋（外部稀釋）的評估及採礦（可開採性）中預計會產生的損失的撥備。

探明的礦產資源

評估探明的礦產資源的數量及品質時，會以詳細可靠的資料為準則，例如是經由鑽孔（鑽孔間隔足夠近，便於確定地質及品位連續性）取得的資料。

在 Thompson 礦場，作為探明的礦產資源進行評估的物料的鑽孔間隔為 50 英尺或小於 50 英尺，而在 Birchtree 礦場，該間隔為 40 英尺或小於 40 英尺。在鎳業務線（用於定義探明的礦產資源）層面上，Vale 公司守則列明，就可回收金屬、噸位及品位而言，實現一個季度的產量所需覆蓋的面積或體積須達到 $\pm 15\%$ 的可信度水平。

與證實成本評估及其他經濟參數的預可行性研究及／或可行性研究有關的探明的礦產資源歸類為探明或可能礦產儲量類別。請注意探明或可能礦產儲量類別亦包括未計劃的稀釋（外部稀釋）的估測及採礦中預計會產生的損失的撥備（可開採性）。

2.13 礦產儲量評估

礦產儲量評估概覽

以下方法可用於將礦產資源轉化為礦產儲量：

- 更新礦產資源模型以在新採礦計劃的開工日期反映預計的採礦塊體狀況。
- 離散區域各礦體的採礦方法，主要以礦化區的幾何結構為依據。曼尼托巴業務採用混合回收以及選擇性兩種採礦方法。
- 各礦體的營運及資本成本評估，乃是以採用的採礦方法為依據。營運成本可用於連同淨加工所得(NPR)公式共同計算邊界價值以及描述可能在經濟上值得開採的資源塊體。



- 回收礦房大綱乃是為潛在經濟資源分塊而設。該等大綱基於現實的採礦結構以及回收和稀釋的歷史因素設計。該程序於工程及地質部門之間重複執行。
- 獨立評估礦產儲量（即排除推斷的礦產資源和潛在礦床），以驗證經證實且有充分根據的礦產儲量的經濟可行性。
- 就潛在經濟回收礦房制定 LOM 安排。對整個安排開展再次經濟評估。LOM 安排包含的物料有經證實且有充分根據的礦產儲量；經探明、推定及推斷的礦產資源（調整計入預期採礦回收和稀釋）；以及可能包括潛在礦藏（通常不調整計入採礦回收和稀釋）。
- 開展風險分析以確定經濟敏感性以及金屬價格、回收率、資本成本、經營成本和品位變化等因素。

資源模型更新

已開採或經採礦處理的區域被手動從 Datamine 礦產資源分塊模型中的 MRMR 列表中移除，以反映其開採狀況。這涉及在「已開採」一欄中新增單元格，在「開採完畢」單元格標上旗標，然後將它們疊加在原始的未經開採礦產資源分塊模型上。預計開採程序將從年初（即 2009 年 1 月 1 日）開始。

採礦方法的選擇

Thompson 業務採用的採礦方法包括傳統鏟車露天開採、充填開採(CAF)（包括柱式 CAF (PPCAF)）以及 VBM。地下採礦包括原有採礦分塊和新採礦帶中的殘留礦柱回收。礦石在地下被軋碎至 15 厘米大小，並在 T1 豎井吊至地面，然後運至選礦廠。Birchtree 礦石則被軋碎、吊至地面並由卡車通過礫石運輸路運至毗鄰 Thompson 礦廠的儲礦堆區域。

地下採礦方法的選擇乃基於大量因素，包括礦床幾何學（主要為傾斜）以及所需的超前掘進。由於會留下礦柱，PPCAF 的回收率較低，現約為 78%，而 VBM 的回收率平均可達到 90% 左右。未來規劃似乎更偏愛 VBM，其已成爲佔主導地位的方法，且目前達生產的 75% 左右。

整個曼尼托巴業務（T1、T3、Birchtree 相加）採用的各種地下採礦方法在過去兩年半間的生產能力列於表 2-15。CAF 採礦（主要為位於 T3 的 602 回收礦房綜合項目）的生產能力已穩步上升，而 VBM 則小幅下降。位於 Birchtree 的 84 礦體的生產能力已下降約 25%。在上述期間內，CAF 採礦的生產能力較高。原因可能是 CAF 採礦更加適用，且由於採掘規模較小，從而未受地層問題影響。



表 2-15：兩種採礦方法的平均生產能力（噸／班）

方法	2008 年	2009 年	截至 2010 年 6 月止
CAF（602 回收礦房的 80-90%）	24.2	28.5	34.2
VBM（所有綜合項目）	28.9	25.7	26.9
VBM（Birchtree 84 礦體）	40.8	31.2	30.1
VBM（Thompson 1D 上層）	30.2	22.0	27.5

合資格人士認為，曼尼托巴業務採用的採礦方法適用於礦床配置。儘管 CAF 採礦本身會在礦柱留下約 20% 的潛在礦產儲量，但它是目前生產能力最高且成本最低的方法。合資格人士對礦產資源評估進行的審查未發現任何嚴重錯誤。

地質技術勘察

由於曼尼托巴業務 25% 以上的礦產儲量均在 4200 水平下的 1D 下層深層區，因此 Thompson 礦場的地下採礦未來將繼續加深。迄今為止，地應力還未成為曼尼托巴業務採礦的主要因素；但在一些垂直層位，這個情況可能會更加明顯。深層採礦的影響是可能增加採礦成本，因為所需礦山支架和復墾增加，以及生產能力會降低。Vale 已完成地質技術分析，以檢查採礦對 1D 礦場 4200 水平下的地層條件的影響，尤其是對下盤和上盤帶之間的主岩以及 4200 下的計劃拱頂的影響。此外，完成了大量壓力測試，以檢查 4200 水平下的各種回收礦房塊體規模的穩定性，以幫助確定 1D 深層區域的最佳分塊規模。應就該採礦分塊的計劃回收礦房採礦順序進行類似評估，包括各採礦工祖的相互影響及該採礦區內的底梁柱。

目前正在對位於 T3 礦場的下層 1D 礦體的兩個採礦工祖進行開採，採用的是 PPCAF 採礦方法，礦柱為 24 英尺 x 24 英尺，掏槽寬度為 26 英尺。地質技術工程研究已完成，其中包括經驗和數值模擬分析，以審核當前設計，並確定縮小礦柱規模是否可行。此舉旨在優化本採礦區域的礦石的整體回收率。基於研究結果得出的結論是，在維持足夠的安全係數的同時，礦柱大小可從現有的 24 英尺 x 24 英尺減至 20 英尺 x 20 英尺，掏槽寬度可從 26 英尺增至 30 英尺。如能成功作出改變，可將採礦區域中的礦產儲量提高約 9%。計劃將進行開採試驗以確定研究結果。

在 Birchtree 礦場，由於存在橄欖岩（超鐵鎂岩）和斷裂帶，地層條件帶來了更嚴峻的挑戰。目前，由於 84 礦體的生產區域出現地層問題，Birchtree 的生產已出現問題。Birchtree 的礦山支架要求較高，如有需要，會用到噴製混凝土和鋼鍵組合式岩釘。

由三個地下礦場組成的整個曼尼托巴業務只有一名地質技術工程師。隨著採礦逐步深入，涉及到的殘礦區域越來越多，地質技術問題也有可能增加。Sudbury 和多倫多的 Vale 員工向曼尼托巴業務提供支援，但這無法代替一個積極採礦營地所需的日常地面控制。



有資格人士認為，隨著 Thompson 和 Birchtree 礦場開採深層的礦產儲量，地質技術問題可能會隨之增加。面對地質力學的挑戰，回收率、生產能力和採礦成本可能受到影響。Birchtree 礦場現正面臨著地面控制問題，已對生產造成了影響。在 Sudbury 的公司技術員工的幫助下，曼尼托巴業務開展了定期地質技術勘察，並在完成 FEL2 研究和未來採礦規劃時，例行考慮地質技術問題。有資格人士對地質技術勘察進行的審查未發現任何嚴重錯誤。

採礦設備

曼尼托巴業務主要使用的是柴油機械採礦設備。水平開拓通常使用配有機械孔篩、裝載-拖運-卸載機(LHD)和卡車的雙懸臂工作面鑽機。深度較淺的垂直開拓採用天井鑽機，其餘掘進工程則採用 Alimak 爬升式升降機。VBM 生產鑽探使用的是隧道鑽孔(ITH)機，如有需要則利用錨索作為礦山支架（主要在 Birchtree）。岩石清理工作已通過利用 LHD 機和地下拖車綜合車隊完成。充填物料已由卡車和 LHD 機填入空隙。亦使用了支撐設備車隊，其中包括剪刀式升降機、服務車輛及人員輸送車。

在 Thompson T1 礦場的原有礦內巷道，LHD 容易卡住，礦石運輸則由機車和履帶傳動裝置完成。Thompson 礦場所生產的 80% 左右均由 3600 水平的礦車運至 T1 提升豎井（約 4,000 噸/日），其利用 2 至 25 噸的箕鬥能提升計劃噸位。

整體而言，曼尼托巴業務使用的採礦設備就所用的採礦方法和計劃生產而言是適當的。曼尼托巴業務同大多數現代礦場類似，且依靠柴油運輸設備。卡車運輸在較深區域（尤其是 1D 深層）的使用達 7 年生產的 60%，在通風問題上已面臨著更大挑戰。現已進行工程研究，以評估處理有關地區物料的其他方法。減少對柴油設備的依賴的其他方法正在調查之中，包括增加提升豎井數目。

合資格人士認為，**整體而言，曼尼托巴業務使用的採礦設備就所用的採礦方法和計劃生產而言是適當的。3600 礦車被公認是未來在 Thompson 礦場進行生產的樽頸位，現正不斷研究以圖解決這個問題。合資格人士對採礦設備的選擇評估進行的審查未發現任何嚴重錯誤。**



開採速度

Error! Not a valid bookmark self-reference. 顯示 2010 年（截至 6 月 30 日）曼尼托巴業務的計劃採礦方法及按礦區劃分的開採速度。

表 2-1：曼尼托巴業務開採速度摘要（2010 年 LOM 計劃，截至 6 月 30 日實際數字）

礦場	採礦方法	計劃開採速度 (噸/日)	實際開採速度 (噸/日)	佔計劃%
1D	60% CAF / 40% VBM	3,000	2,934	98%
T1 及 T3	VBM	1,870	1,757	94%
Birchtree	89% VBM / 11% CAF	3,325	2,733	82%
總計		8,195	7,424	91%

濕噸/日

截至 2010 年 6 月 30 日，曼尼托巴業務已出產礦產量為年度至本日計劃礦產量的 91%。最大方差—18%歸因於 Birchtree 礦場在 VBM 回收礦房 84 礦體的地面控制問題，這影響了產量。表 2-17 顯示 2008 年、2009 年和截至 2010 年 6 月 30 日的實際開採速度比較計劃開採速度的情況。礦場根據 2009 年 LOM 計劃，分為 1D、T1 & T3 組合和 Birchtree。

表 2-17：曼尼托巴業務實際開採速度摘要（濕噸/天）

礦場	2008 年		2009 年		截至 2010 年 6 月 30 日	
	計劃	實際	計劃	實際	計劃	實際
1D	2,897	2,354 (81%)	3,185	2,472 (78%)	3,000	2,933 (98%)
T1 及 T3*	2,034	1,981 (97%)	2,075	1,888 (91%)	1,870	1,757 (94%)
Birchtree	3,777	3,207 (85%)	3,698	2,673 (72%)	3,325	2,733 (82%)
總計(佔計劃%)	8,708	7,542 (87%)	8,958	7,033 (79%)	8,195	7,423 (91%)

* T3 殘礦 VBM 日回收量為 200 噸。

在上述兩年半期間，礦產量持續低於計劃，且最大方差發生於 Birchtree 礦場。來自 Birchtree 的產量持續下滑，這是由於開採工作面的壓扁酌導致了地面問題。上述問題將在過渡到一個更加理想的開採順序(將減少地應力)期間，限制回收礦房的選擇。

目前，所有來自 1D 礦場的礦石必須在 3600 水平使用礦車運至 T1 豎井，並在那裡被吊起運至地面工廠。3600 礦車目前日運送量在 4,000 噸左右。1D 礦區的所有人員和物資通過 T-3 豎井轉移，且到達更深工作場所的時間正在增加。此外，地面控制問題可能隨 1D 礦場加深而增加。這些因素都將對曼尼托巴業務保持目前生產速度施加越來越大的生產壓力。一項 1D 合理化項目正在研究各種各樣的採礦選件，包括物資搬運選件如新的豎井設備、內部暗井、擴展 3600 礦車及其他項目。曼尼托巴業務員工清楚地意識到了這些壓力，其將積極尋找解決方法並在未來完善礦產資源的萃取。需要開採更深的礦產資源將影響未來開採速度的主要因素之一，其將對地面控制、通風、其他服務及人員和物資流動施加影響。



合資格人士認為，儘管根據最近生產歷史，1D 和 Birchtree 礦場的開採速度可能有些激進，但 T1 和 T3 礦場的計劃開採速度適合已使用的開採法和計劃產量。過去幾年來，曼尼托巴業務實際開採速度已經低於計劃。最顯著的差額發生於 Birchtree 礦場，在那裡，開採工作面的壓扁酌導致的地應力增加已限制了可利用的回收礦房數量。其他導致負方差的原因可能不盡相同，但也在可能某種程度上與制定激進性目標有關。隨著礦場加深，這些問題有可能變得更加普遍。合資格人士對開採速度進行的審查未發現任何重大缺點；然而，制定的採礦計劃目標必須是可以達到的。

礦場服務

曼尼托巴業務採礦設施的礦場服務包括豎井和通風基礎設施、3600 礦車、維修車間、液壓回填管道及電氣、壓縮空氣和水管網。

T1 礦場的主要提升豎井由兩架載重量為 25 噸的箕斗組成，其足夠滿足未來計劃產量的提升需要。T3 礦場的礦石目前通過 3600 電車道設施運至 T1 豎井，該電車道日平均運送量為 4,000 噸。該基礎設施正成為實現 T3(1D 礦區)未來計劃產量的瓶頸。另外，向 T3 礦場指定的全體人員和設備通過 T3 豎井轉移，而 T3 豎井是一座非提升豎井。目前抵達 T3 礦場下層的 1D 礦區平均用時為 45 分鐘左右。因為這些原因，我們正在研究將礦石運送至地面及令全體人員與設備更有效率地抵達礦區的替代途徑。

Birchtree 礦場目前無任何豎井容量和礦場產量減少的問題。

隨著 Thompson 及 Birchtree 兩個礦場進一步開發，提供主要礦場服務（如回填及通風）將招致更大的挑戰，更高的成本。水泥填石計劃將作為未來採礦的主要回填選擇。我們一般使用開發岩石廢料與普通波特蘭水泥混合物填充空隙，且當需要時，地表掘取的岩石可作補充。我們將水泥存放於井下儲倉中，在混合槽中混合並以泥漿形態運輸，隨後在傾倒地點與岩石混合。作為 1D 合理化項目的一部分，工程人員正在研究放置回填物的長期計劃。使用膏體填充的方法也正在研究之中。

其他礦場服務（如電力分配、脫水排污和壓縮空氣）屬現代機械化礦場之典型服務，這些服務均未表現出任何重大問題。由於地面風扇欲向更深的區域通風，風扇電力要求有所提高，故評估期望增加電力。

合資格人士認為，曼尼托巴業務採用的礦區服務適用於並足夠支援目前的採礦業務。合資格人士對礦區服務進行審查並未發現任何嚴重錯誤。



礦石回收和稀釋

可開採儲量優化(MRO)程序給出的礦產資源估算中已納入內部或已規劃的稀釋。儲量品位及噸位估算中已包含外部或未規劃的稀釋（廢物超挖及回填）以及礦物回收率，如圖 2-8 的界定。這些界定是得到認可的行業標準。

所有得到開採的 VBM 回收礦房都使用空區探測系統（鐳射掃描）進行檢查，並計算出一個特定塊體的礦物回收及稀釋，如圖 2-8 的界定。用於礦產儲備估算的礦物回收率及稀釋因素分別為 77%到 90%，以及 6%到 14%(MRMR 2009)。該因素範圍乃屬合理，有多年的生產經驗、定量評估及礦石－礦山調節報告作支撐。2010 年的規劃中，曼尼托巴業務的平均綜合礦物回收率為 90%。Birchtree 礦場的稀釋為 6%，而 Thompson 礦場的稀釋平均值為 12%。

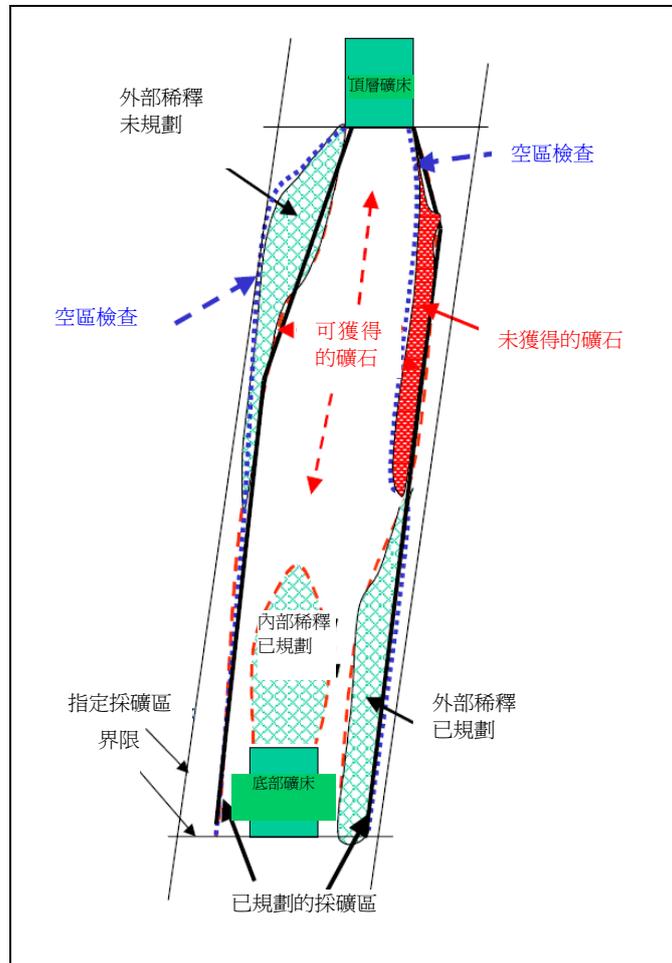


圖 2-2：稀釋及礦物回收率界定 (BT 2009 MRMR)。



Thompson 1C 礦坑設計中沒有考慮採礦損失以及稀釋，如果採用分組為 20 x 20 x 20 英尺的經稀釋分組模型，應屬充分。如果是較小分組規模（10 x 10 x 10 英尺）的 Thompson 1D 礦坑，就會使用 5% 的稀釋和 95% 的礦物回收率。

合資格人士認為，曼尼托巴業務的礦物回收率和稀釋因素的界定乃屬合理，並且有歷史資料和經驗作支撐。合資格人士對礦物回收率和稀釋所完成的審查並未發現任何嚴重錯誤。

資源到儲量的換算

礦產儲量估算以礦產資源模型（分塊模型或多邊模型）為基礎，且必須有得到證實的採礦規劃或 FEL2 研究（初步可行性）檢察，並顯示出正的淨現值（淨現值）。如果整個曼尼托巴業務基本情況的淨現值沒有因為將新礦產資源加入到整體規劃中而減少，方能將礦產資源換算為創產儲量。礦產資源的塊體價值採用淨加工所得(NPR) 公式計算。該公式與淨熔煉所得公式類似，差別在於該公式還將採礦成本和企業間接成本計算在內。NPR 基於工廠金屬回收率及成本（對於磨機而言，指熔煉機及精磨機）、金屬價格、任何運輸成本及匯率。圖 2-9 所示的是確定礦石價值的方法簡圖。

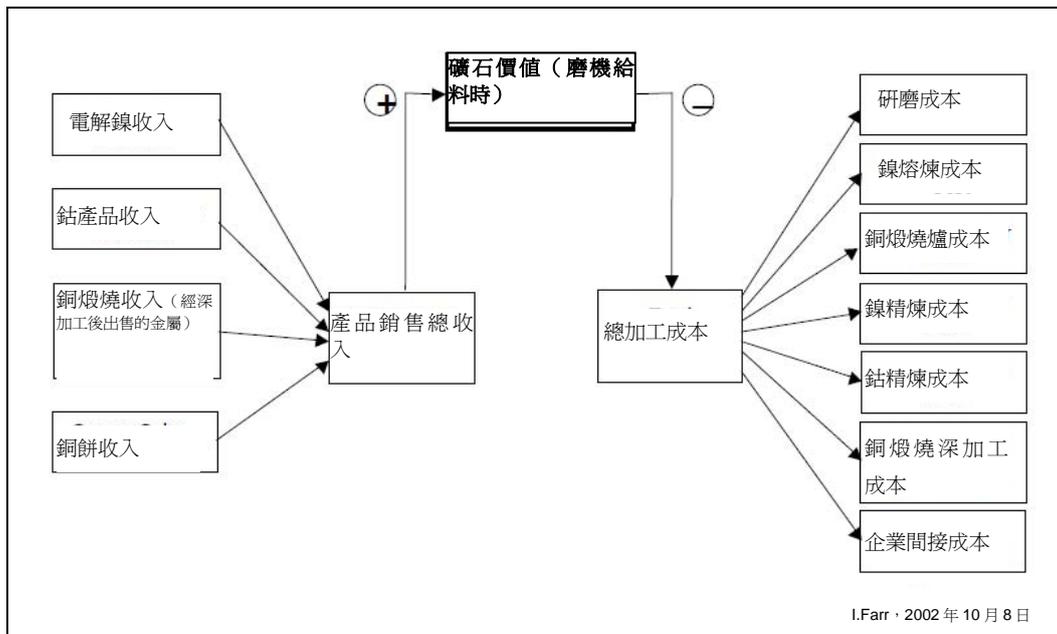


圖 2-9：確定曼尼托巴業務礦石價值的方法圖示 (MO 2009 MRMR)。

1999 年開發的實際公式相當複雜，由 144 種因素構成。儘管工廠操作流程图已有某些修改，該公式後來卻未作更新。每月必須人工核實工廠回收率，以確保結果的準確性。



將礦產資源換算成礦產儲量的第一步是運用名為可開採儲量優化或 MRO 的 Datamine 軟件工具。Vale 在運用該軟件及其關鍵輸入參數，如精礦品位目標（原礦邊界品位）、增量目標品位及最大廢棄分數（控制可接受的內部稀釋的因素）的過程中積累了大量現場經驗。選擇性開採單位大小(SMU)用於體現選擇性開採方法（PPCAF 或 VBM）中的最小採礦單位。MRO 程序中包含由既定 SMU 中的最大可容許廢棄分數控制的內部稀釋。曼尼托巴過去對 MRO 程序進行過修正，同時還進行人工規劃的修正，以確認 MRO 的結果。MRO 階段過後，經諮詢礦廠採礦工程師，會在礦石回收及外部稀釋中將 MRO 形態或包絡層考慮在內。在此階段以及在沒有詳盡的採礦規劃時，該等礦石儲量被加入曼尼托巴礦物儲量綜述表中。礦藏規劃者還可以利用一個程序獲取對含鎳（增量礦石）量在 1% 以下的礦產的批准。礦藏規劃者採用 NPR 公式及採礦成本計算表評估獨立的採礦塊體，以估算經濟可行性或決定是否開採詳細塊體設計中的礦石增量物料。

礦產儲量估算的下一步涉及詳盡的短期採礦規劃，該規劃通常在實際採礦之前 3 到 12 個月作出。因此，由於本文件每年刊發一次，儲量綜述表並未反映最新礦產儲量。在這一階段，採礦規劃工程師將對各個採礦塊體進行更為詳盡的評估。外部稀釋也被計算在內，以體現剝離物超挖及回填料的增加，還根據類似採礦法及地層條件的歷史結果採用了礦石回收系數。由於指出每年礦產儲量至完成詳盡短期規劃期門出現的延誤，指出的礦產儲量和實際採得的物料之間將存在差異。例如，倘若未達到計劃的開採噸數目標，則往往會開採較低品位的物料。如果在整個業務期間經常發生這種情況，就很難達到目標品位及鎳產量，從而對採得的開採品位造成下行壓力。以往的礦產資源有小部分是使用多邊型模型而估計，但並未使用 MRO 程序來進行更新。這些地區往往造成與實際回收物料的最大差異。這情況可見於 T1 礦場，該礦廠今年所開採的品位低於特定塊體所指出的儲量品位。估計這是由於採用了多邊型估計方法之故。

礦坑

Thompson T1 1-AB 礦坑、T-3 1-C 礦坑北部與南部，以及 1D 礦坑屬於曼尼托巴業務可能礦產儲量類別，佔 2009 年總礦產儲量的 10%。曼尼托巴業務有礦坑採礦的歷史，但目前礦石生產都不在礦坑進行。

對 SRK 礦坑設計初步可行性報告的審查已經完成，但並無解釋 SRK 為何不採用確定地下儲量切斷時所使用的 NPR 公式（SRK，2007 對經濟礦坑殼層的更新，可保證切實體現目前的金屬價格和匯率。此外，每個礦坑對價格和成本的敏感度都可用於檢測經濟殼層的變化。

合資格人士認為，礦藏規劃者通常在各業務採用 NPR 公式及採礦成本計算表，並對增量礦石有深刻透徹的了解；然而，增量礦石的可獲得性以及礦場生產目標所面對的挑戰將對採礦品位及鎳的總產量造成下行壓力。

合資格人士認為，曼尼托巴業務的礦產儲量估算方法得到遵循，適當的內部審查業已完成。礦產儲量估算及從礦產資源到礦產儲量的換算已經按照獲認可的行業標準完成，適合進行礦產儲量報告。合資格人士對礦產儲量估算所完成的審查未發現任何重大缺點。



2.14 報告的礦產儲量

曼尼托巴業務各運營礦場 2010 年 6 月 30 日礦產儲量估算已概列於表 2-18 中，由曼尼托巴業務 2009 年 12 月 31 日發佈的礦產儲量減去其自 2010 年 1 月 1 日至 2010 年 6 月 30 日的產量得出。礦產儲量由探明及可能類別的礦產儲量及主要金屬鎳(%)的平均品位相加所得。礦產儲量估算為調整採礦稀釋及採礦回收損失後的原狀物料回收。並無就洗選造成的金屬損失對該等估算作出任何調整。

表 2-28：2010 年 6 月 30 日曼尼托巴業務礦產儲量

礦場	類別	噸 (千噸)	鎳(%)	銅 ¹ (%)
Birchtree 礦場	探明	2,753	1.83	0.10
	可能	2,500	1.53	0.08
	探明+可能	5,254	1.69	0.09
Thompson 礦場	探明	5,199	1.98	0.12
	可能	14,470	1.64	0.10
	探明+可能	19,669	1.73	0.11
曼尼托巴業務總計	探明	7,952	1.93	0.11
	可能	16,970	1.63	0.10
	探明+可能	24,923	1.72	0.10

附註：

1. 銅儲量是從修正鎳和銅於鑽石岩芯的化驗數據而獲得的歷史因素編製。Thompson 礦場已透過核對選礦廠已入賬的五年期生產數字而認可有關因素。

表 2-19 載列取自 2006 年至 2009 年曼尼托巴業務 2009 年綜合技術報告的礦產儲量估算數字，包括 Thompson 與 Birchtree 礦場中鎳(%)及銅(%)的探明、可能礦物儲量。

2010 年 6 月 30 日與 2009 年 12 月 31 日的礦產儲量估算比較顯示，1,174,000 噸品位為 1.57%的鎳物料於 2010 年上半年自曼尼托巴業務採得。



表 2-19：2006 年至 2009 年曼尼托巴業務礦產儲量 (千噸)

礦場	儲量	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年
Thompson 礦場	探明	7,069	6,266	6,382	5,877
	鎳 _i %	2.18	2.17	2.05	1.95
	銅 _i %	0.14	0.14	0.13	0.13
	可能	7,167	10,331	11,093	14,537
	鎳 _i %	2.01	1.75	1.74	1.64
	銅 _i %	0.14	0.11	0.11	0.11
	總計	14,236	16,598	17,475	20,414
	鎳 _i %	2.10	1.91	1.85	1.73
銅 _i %	0.14	0.13	0.13	0.12	
Birchtree	探明	5,073	4,204	3,721	3,183
	鎳 _i %	1.67	1.73	1.76	1.77
	銅 _i %	0.11	0.11	0.11	0.11
	可能	4,746	3,334	3,292	2,500
	鎳 _i %	1.45	1.45	1.44	1.53
	銅 _i %	0.10	0.10	0.10	0.10
	總計	9,819	7,538	7,013	5,683
	鎳 _i %	1.56	1.61	1.61	1.67
銅 _i %	0.10	0.10	0.10	0.10	
總計	探明	12,142	10,470	10,103	9,060
	鎳 _i %	1.97	1.99	1.94	1.89
	銅 _i %	0.13	0.13	0.13	0.12
	可能	11,912	13,665	14,386	17,037
	鎳 _i %	1.79	1.68	1.67	1.63
	銅 _i %	0.12	0.12	0.12	0.12
	總計	24,055	24,135	24,489	26,097
	鎳 _i %	1.88	1.82	1.78	1.72
銅 _i %	0.12	0.12	0.12	0.12	

2.15 調節及儲量審計

品位控制審查

表 2-20 載列 2010 年計劃及年初至六月份實際數字的開採品位對比。就生產率而言，最大偏差位於 Birchtree 礦場，該礦場的 84 礦體正面臨地表控制難題。

表 2-20：曼尼托巴業務年初至六月份及計劃的開採品位及鎳產量對比

礦場	開採方法	品位鎳(%)		2010 年六月份 計劃鎳礦 (磅)	年初至六月份 鎳礦 (磅)	佔計劃 %
		2010 年 計劃	年初至六 月份實際			
1D	60% CAF / 40% VBM	1.96	1.79	20,395,333	18,298,336	90%
T1 及 T3	VBM	1.72	1.50	11,210,136	9,157,747	82%
Birchtree	89% VBM / 11%	1.48	1.39	17,139,223	13,163,329	77%



礦場	開採方法	品位鎳(%)		2010年六月份 計劃鎳礦(磅)	年初至六月份 鎳礦(磅)	佔計劃 %
		2010年 計劃	年初至六 月份實際			
	CAF					
總計		1.71	1.57	48,744,692	40,619,412	83%

品位控制利用鑽孔導電性探測並基於現有硫化物數量的目測結果進行。VBM 區域內，於鑽探塊體以進行生產爆破的準備工作完成後，便在每個孔內插入鑽孔探針，以估算回收礦房分塊內的品位。該等結果根據礦產資源塊體模型分劃，礦藏規劃者確定萃取計劃以實現最大回收量。在某些情況下，甚至可能利用爆破分隔廢物區。如果回收礦房的廢物部分能單獨爆破及清理，則此舉成功。出現礦產與廢物混合時，有時可目測將放礦點處的廢物與礦產分開。通常透過目測估算硫化物的數量，如果已確定廢物，則將其運至廢物儲礦堆或回收作充填物料。

調節礦藏對實際開採量

調節研究每年均會進行，並將對比礦廠各品位的礦產儲量估算。該對比僅為近似值，因為礦廠各品位必須按比例運回開採塊體，且因開採塊體時出現精密鑽孔及繪圖，從而導致礦產概況存在常見的顯著變化。此外，必須強調的是，該等調節所用的生產數據橫跨利用不同運營策略的若干年運營，該等策略受到金屬價格及其他經濟限制的大範圍影響。但該調節顯示礦產儲量估算與產量（「已分配」研磨）之間的對比。

2009 年調節針對 Thompson 礦場的 1D 礦體及 B 區、低於 2400 水平的 1B、T1 殘礦及 CAR 602 礦區以及 Birchtree 礦場的 84 及 108 礦體所作。該等結果概列於表 2-21 中，原始數據載列於 2009 年曼尼托巴業務綜合技術報告（Smith 及 Liske，2009 年）的表 15.1 中。

調節評估的結果顯示高於 3600 的 1D（D 及 B 區）以及 T1/T3 殘礦中多邊型估計的相關噸數低估與品位高估。其他區域中的品位及噸數方差均已歸因於包括超出計劃的稀釋、較低鑽探密度及斜向鑽探在內的因素。

礦廠精礦品位中鎳的當前產量為計劃的 83%，該產量約為過去兩年半達到的平均值且已概列於表 2-21 中。礦廠精礦品位中低於計劃的鎳產量主要歸因於三間礦場中各礦場低於計劃的開採噸數。在一些區域（1D、T1+T3 礦場），平均開採品位亦低於計劃，從而令問題進一步惡化。



表 2-3：曼尼托巴業務實際及計劃開採品位及鎳礦產量對比

礦場	品位/磅	2008 年		2009 年		截至 2010 年 6 月 30 日	
		計劃	實際	計劃	實際	計劃	實際
1D	鎳(%)	2.02	1.72	1.82	2.05	1.92	1.79
	鎳礦(磅)	39,018,295	27,112,656	37,114,825	32,489,787	20,395,333	18,298,336
T1 及 T3	鎳(%)	1.87	1.84	1.65	1.91	1.72	1.50
	鎳礦(磅)	25,351,887	24,275,925	21,877,820	23,072,961	11,210,136	9,157,747
Birchtree	鎳(%)	1.56	1.52	1.57	1.48	1.48	1.39
	鎳礦(磅)	38,940,212	32,333,834	37,202,967	25,083,845	17,139,223	13,163,329
總計	鎳(%)	1.79	1.62	1.68	1.80	1.71	1.57
	鎳礦(磅)	103,310,394	83,722,415	96,195,612	80,646,593	48,744,692	40,619,412
估計%	佔鎳礦(磅)	81%		84%		83%	

品位控制透過看似充足的導電性探測及人工目測技術進行，屬短期計劃。合資格人士認為曼尼托巴業務的品位計劃及預計鎳產量可能比較樂觀。

基於短期金屬價格的「運營」邊界同樣存在於曼尼托巴業務中，並在某些情況下用於開採「增值礦石」，例如當金屬價格更為誘人（更高）時。當該下層品位物質取代按礦產儲量定義的計劃產量時，計劃金屬產量通常無法完成。開採下層品位物質以協助減緩正面臨的任何噸數差額，但允許存在整體平均品位的下行壓力。

合資格人士對品位控制進行的評估水平並未發現任何重大缺點。

審核

Vale 曼尼托巴業務已完成三項審核，分別描述如下：

- 1) Vale（鎳業務）的內部審核 — 該等審核乃由 Vale（鎳線業務）來自曼尼托巴業務或其他業務的員工完成。該等審核可包括對樣品數據庫輸入、MRMR 評估、項目關卡審核等的程序檢查。MRMR 評估及月度 QA/QC 樣本審核的同行審核文件範例乃提交予 Golder 審核。
- 2) Vale（鎳業務）的外部審核 — 該等審核乃由 Vale（鎳線業務）的分析實驗室員工完成，包括實地考察位於 Thunder Bay、Sudbury（安大略）、溫哥華及不列顛哥倫比亞的 ALS Chemex 廠。部分 ALS Chemex 廠由 Vale（鎳線業務）員工年審。



3) 外部審核 — 該等審核乃由外部顧問完成。2007 年 12 月 31 日，Scott Wilson Roscoe Postle Associates Inc. 完成對 Thompson 礦場 1D 下部礦體礦產資源及礦產儲量估算及報告程序的審核（Scott Wilson，2007 年）。我們了解，Vale（鎳業務）對報告作為曼尼托巴業務礦產儲量的礦區進行定期外部審核。

內部審核

有關曼尼托巴業務礦評估／淨加工回報公式 (Net Processing Return Formula) 的 Vale 內部審核報告已於 2006 年 12 月發出(Inco Internal Audit Report #CC2006-P17A)。審核識別出亟需改進失察及監督（審核認為需改進）的若干方面。審核團隊建議包括：加強控制最終 NPR 要素的準確性、確定正式審核及審批程序、定期更新／審核 NPR 要素、獲准重要一線人員掌握 NPR 以及加強對 NPR 處理的培訓。該等建議及行動事項正在執行中。預期將於 2008 年第一季度實現完全合規。

2009 年及 2010 年，Vale（鎳線業務）員工就位於 Thunder Bay、Sudbury 及溫哥華的 ALS Chemex 廠，為 Golder 完成了四項實驗室審核。審核期間，Vale 員工審查了樣品準備及分析所採納的實驗室程序，並將該等程序與 ALS Chemex 員工開展該等工作時的觀察結果進行對比。有關內部實驗室審核的討論，詳見第 2-11 節。

外部審計

2004 年 11 月，AMEC E&C Services Inc. (AMEC) 對 Birchtree 礦場的礦產資源及礦產儲量估算開展外部審核（AMEC, Audit of Resource and Reserve Estimation Methods Birchtree Nickel Mine, Thompson Manitoba, 2005）。Golder 並無審核此報告全文，但其指出根據 2009 年曼尼托巴綜合 MRMR 報告（Smith and Liske, 2009 年），2004 年 MRMR 評估所採用的方法乃充分，並符合適用的規管規定（Tavchandjian, Preliminary Findings of Birchtree Mine External Audit, 2004 年 11 月 18 日）。AMEC 建議改善若干方面的經營，以改善流程。主要建議有：對測定結果、估算礦產資源而非估算礦產儲量（直接來源於礦產包絡層）進行盲法檢查、集中驗證數據庫、更加系統地檢查塊體模型結果以及更加清楚地界定分類標準。此外，AMEC 強烈支持實地技術審查，藉助於其他 Vale（鎳線業務）專業人士（其他業務的地質學家及工程師）的力量，鞏固最佳業務實踐，同時提高整個組織的整體知識水平。

2007 年 10 月，Scott Wilson (RPA) 對 1D 下部礦產資源及礦產儲量開展獨立審核，並已於離開 Thompson 前交付初步結果。RPA 審核小組識別出若干內務問題，但並未發現流程中的任何重大缺點。最終報告已於 2008 年接收，所識別的缺陷已於 2009 年曼尼托巴綜合 MRMR 報告內解決（Smith and Liske, 2009 年）。



Golder 模型及資源審核

曼尼托巴業務的礦產資源貯存分佈於逾 20 個礦帶或礦體，具體視礦區細分而定。Golder 審查礦產儲量估算數字的方法是對 Birchtree 及 Thompson 礦藏(T1/T3)的一系列礦產資源估算礦帶進行審查。該工作乃通過兩種方法完成。其一，與單個礦場內完成其中一個礦帶礦產資源估算的地質學家面談。其二，通過對比 Golder 創建的 NN 塊體模型與礦場指標 kriged 模型或 NN 模型加以分析。

礦場模型及資源審核

每個審查礦帶選派一位礦藏地質學家，指導 Golder 合資格人士開展估算，包括選擇（排除某些情況）鑽孔、創造區域包絡層、變異圖分析、塊體模型生成（未褶皺、NN、MIK）以及品位及噸數計算等一系列流程。

Golder 的 Paul Palmer 先生在實地考察期間，審核了以下地質員工及礦帶：

- Janet Southern（Birchtree 礦場）：審核 84 礦體；
- Angie Pavetey/AI Proulx（T3 礦場）：1D 深下盤；及
- Holly Davidson（T1 礦場）：800 3-剪碎帶。

Golder NN 模型對比審核

對比各曼尼托巴業務（T1、T3 及 Birchtree）的塊體模型與 Golder 生成的模型。審查模型包括 T1-1B、1D 下部深下盤(1D LDFW)及 84 礦體。Golder 的 Keith Harrison 採用 Datamine 創建各礦帶的 NN 未褶皺塊體模型。曼尼托巴業務提供的數據包括各礦帶最終的褶皺體塊體模型以及 5 英尺深的複合鑽孔文件。Golder 並無修改管獲得的任何數據，而僅應用從 MRMR 報告獲取的查勘參數。

Golder 塊體模型與 Vale 模型的完全對比結果顯示，噸數差異合理，介於<1%至 15%之間。鎳品位差異略大，介於-13%至 24%之間。品位差異部分歸因於曼尼托巴業務的 IK 模型內的廢料多於 Golder NN 模型，對比未褶皺塊體模型(Golder)及褶皺塊體模型(Vale)發現，Golder 乃以密度加權鎳樣品塑模。Golder 將 Vale 各最終 IK 模型的噸數和品位製成表格後，發現結果與 Vale 的 MRMR 報告內所報礦產資源估算完全相符。

塊體模型對比結果載於表 2-22。



表 2-22 : Golder-Vale 塊體模型對比

礦床	模型	噸數	%NI	QNI
1D 下部深下盤	Vale (整體)	45,810,738	0.6824	0.0551
	Golder (整體)	45,702,629	0.5521	0.0489
	%差異	0.24%	24%	13%
T1 - 1B	Vale (整體)	15,747,000	1.063	0.097
	Golder (整體)	13,696,977	1.2242	0.1276
	%差異	15%	-13%	-24%
Birchtree - 84 礦體	Vale (整體)	38,311,806	1.1335	0.1036
	Golder (整體)	38,371,274	0.9926	0.1025
	%差異	-0.15%	14%	1%
總計	Vale (整體)	99,869,544	0.915462	0.080312
	Golder (整體)	97,770,879	0.819135	0.080961
	%差異	2.15%	11.76%	-0.80%

合資格人士認為，曼尼托巴業務的礦產資源估算方法得到遵循，適當的內部審查業已完成。設有內部文件處理流程，可顯示哪些文件正在使用以及複製礦物資源估算數字所採用的估算參數。礦產資源估算已完成，符合認可的行業標準和適用於礦產儲量報告。合資格人士對礦產資源估算進行的審查未發現任何重大缺點。

2.16 環境

已基於重大缺點審查，對 Birchtree 及 Thompson 礦場 2009 年 MRMR 技術報告及 2009 年曼尼托巴業務綜合 MRMR 技術報告內的環境概要開展審查。為執行審查，Golder 已索閱各礦場下列相關文件：

- 環境許可／牌照／授權書清單，包括簽發日期、獲許的流程或業務以及屆滿日期（如有）；
- 現有礦區平面圖；及
- 已提交關閉計劃的確認書、簽發日期及最新關閉成本。

與 Vale 的 Glen House 通訊以提供其他資料及進一步澄清的跟進工作亦已完成。

根據提供予 Golder 的資料，Birchtree 礦場已證實擁有一般採礦業務的必要環境許可。Manitoba Conservation 已頒佈環境法許可證(Environmental Act Licence) (#1881)，獲准排放工廠（包括污水處理廠）廢水廢氣。礦場擁有 Manitoba Water Stewardship、加拿大漁業及海洋部和環境部簽發的許可及授權。



已證實 Thompson 礦場擁有一般採礦業務之必要環境許可。鑒於 Thompson 礦場乃為「原始」設施且在 1988 年曼尼托巴環境法之前已經存在，因此 Manitoba Conservation 並未向 Thompson 業務簽發環境法許可證。1970 年，該省向 Thompson 礦場簽發編號為 960 VC 的許可，該許可內容包括 Thompson 礦場、採礦廠、熔煉廠及煉油廠之水氣排放。曼尼托巴業務表明作為尾礦盆地資本項目的一部分，他們正在更新該許可，且已與該省開展交涉。曼尼托巴業務擁有 Manitoba Water Stewardship 加拿大漁業及海洋部和環境部頒發的許可及授權。

針對每個礦場採樣程序、頻率及／或樣本分析進行詳細審查以判斷其是否符合上述許可的所有規定的詳細審查不在本次審查範圍之內。

各礦場 2009 年 MRMR 技術報告內所列之總關閉成本，與我們收到的相應 2008 年關閉計劃最新數字（本研究的一部分）一致。

2.17 社區與政府事宜

自 1959 年始，曼尼托巴業務已於 Thompson 地區的 Thompson 礦場開始運作，並於 1966 年在 Birchtree 礦場開始運作。曼尼托巴業務乃為 Thompson 市最大的僱主。

土著或原住民對曼尼托巴業務 OIC 租約及礦產租約內涵蓋的部分土地享有權利。如土著民權利受到政府行為影響，曼尼托巴政府（皇家）有義務與其進行磋商。如 Vale 開發物業影響土著或原住民權利，政府亦需履行此義務。當前，我們並不知悉有任何磋商義務可能對礦產儲量估算有重大影響。但是，與社區磋商的義務需要在開發含有礦產資源的地區之前予以履行，一如效倣安大略業務之先例。

2.18 經營成本

曼尼托巴業務乃為成熟的採礦營地且擁有豐富經驗和歷史成本數據。每月追蹤特定的採礦活動及礦區產生的採礦成本，幫助員工評估差異並為未來礦區作出更佳預測。該等成本乃通過會計系統追蹤，此系統依據所有活動及消耗品的成本代碼記錄。當然，該等數據僅為輸入數據，存在的風險是系統要求為每個成本項目輸入適當代碼，而對主管及員工造成過大壓力。現金經營成本概要載於表 2-23。



表 2-4：現金經營成本概要

現金成本概要	千美元
時薪	873,529
薪酬	469,591
供應	690,733
試劑	105,825
雜項	43,012
稅款及保險	86,535
能源	321,242
服務及合約	511,606
設備	69,238
折舊	399,271
攤銷	473,716
重新分配	-18,762
經營總成本	3,743,749

通常而言，採礦成本乃基於歷史資料與趨勢預測。評估某一採礦塊體的開採現狀時，需充分考慮其他細節，並視乎特定要求向此分塊分撥更多成本。該成本計算工具會納入切斷品位和增量礦石等決策的開採計劃內。

表 2-5：曼尼托巴業務總開採現金成本 顯示礦區截至 2010 年 6 月 30 日總採礦現金成本與截至 6 月份 2010 年計劃成本的對比。（三個礦區根據月度成本表分開列示，T3 礦藏主要以 1D 綜合項目為主）。此處總現金成本包含所有直接及簡介經營及維護成本以及分派的經常費用。未納入攤銷及折舊成本。

表 2-5：曼尼托巴業務總開採現金成本

礦場	2008 年			2009 年			至 2010 年 6 月底		
	計劃	實際	差異	計劃	實際	差異	計劃	實際	差異
T1	\$64,199,666	\$67,582,715	+5%	\$56,397,754	\$57,558,961	+2%	\$30,429,190	\$30,698,836	+1%
T3	\$56,514,438	\$64,642,961	+14%	\$69,038,205	\$70,232,706	+2%	\$39,335,387	\$41,317,964	+5%
Birchtree	\$77,102,309	\$82,971,213	+8%	\$82,333,954	\$77,065,524	-6%	\$43,652,133	\$41,591,421	-5%
總計	\$197,816,412	\$215,196,889	+9%	\$207,769,913	\$204,857,192	-1%	\$113,416,710	\$113,608,222	0%

在過去兩年半，總現金開採成本在計劃上下 10% 內浮動，但 2008 年的 T3 礦場例外，為 14%，但若基於每噸成本計算，過去兩年半內，三個礦場的總開採現金成本高於預期，詳見表 2-25。



表 2-6：曼尼托巴業務總開採現金成本（（美元）／濕噸）

礦場	2008 年			2009 年			至 2010 年 6 月底		
	計劃	實際	差異	計劃	實際	差異	計劃	實際	差異
T1	\$102.93	\$107.06	+4%	\$92.27	\$101.69	+10%	\$102.94	\$106.84	+4%
T3	\$53.67	\$76.73	+43%	\$62.56	\$82.11	+31%	\$69.45	\$76.10	+10%
Birchtree	\$60.76	\$76.55	+26%	\$68.29	\$89.53	+31%	\$74.17	\$85.98	+16%
總計	\$67.15	\$84.14	+25%	\$71.14	\$89.77	+26%	\$78.19	\$86.46	+11%

T1 礦場超支率較低(4%至 10%) 而 T3 礦場的每噸成本在 2008 年上漲 43%，2009 年上漲 31%。每噸成本超支的主要原因是每個礦場的實際開採噸量比預期低（見上文表 2-17 所示）。就每噸成本計算，經營及維護間接成本尤其受到採得噸數較低的影響。

當前總現金成本較計劃多 11%，其中差異最大的是 Birchtree，該礦場的開採噸量較計劃低 16%，主要是因 84 礦體的地面控制問題所致。隨著 Birchtree 及 T3 礦場開採逐漸深入，可能會出現更大的成本上升壓力。原因是地面支持和開採服務成本增加，以及更長作業時間和更加艱難的採礦環境引致產量下降。

2.19 資本成本

表 2-26 顯示投入到曼尼托巴業務五年計劃（2010 年至 2014 年）的資本成本。

表 2-26：曼尼托巴業務五年計劃的資本成本安排（千美元）

領域	類型	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年
Thompson 礦場	設備	18,727 美元	24,044 美元	18,549 美元	19,093 美元	19,696 美元
	開發	31,100 美元	25,026 美元	19,307 美元	19,872 美元	20,500 美元
Birchtree 礦場	設備	3,370 美元	2,513 美元	2,302 美元	1,897 美元	964 美元
	開發	9,000 美元	7,537 美元	6,906 美元	5,691 美元	2,892 美元
研磨／熔煉／精煉	設備	43,451 美元	78,945 美元	72,725 美元	34,250 美元	59,250 美元
維持	設備	7,330 美元	4,000 美元	3,000 美元	3,000 美元	3,000 美元
總計	全部	112,978 美元	142,065 美元	122,789 美元	83,803 美元	106,302 美元

曼尼托巴業務的移動設備一般憑經營租賃安排獲取。租賃結束時，該設備按「回購」方式購買，且該支出隨後撥充資本。礦產開發成本、或核准資本開發(ACD)支出至少以 FEL2（初步可行性）研究為依據。曼尼托巴業務現金流量模型中僅包括支持礦產儲量的資本成本。五年計劃的維持資本成本約為 2010 年後總資本總本的 3%（約 1.25 美元／噸）。



過去兩年半內探礦現金總成本為計劃的 10% 以內；但是，由於生產率低於計劃，這些成本持續超出計劃（按每噸成本計算）。五年計劃的資本成本預測顯示支持 LOMP 及未來礦場開發。2010 年後的長遠資本成本約為總資本的 3%，或 1.25 美元／噸，而 2010 年計劃達到 6.5%。該等未來成本顯然較低。合資格人士對經營及資本成本的審查已完成且未發現任何重大缺點。

2.20 課稅

因開展曼尼托巴業務活動所獲應課稅收入須按《所得稅法》（加拿大）（即「所得稅法」）、《曼尼托巴所得稅法》繳納綜合企業所得稅，及按《礦產稅法（曼尼托巴）》繳納礦產稅。曼尼托巴省是「贊同省」，即其為收取企業所得稅的課稅基礎與聯邦公司稅基礎一致。在曼尼托巴賺取的探礦收入目前課稅的法定稅率分別為：《所得稅法》下規定 18.0%（2009 年為 19.0%），《曼尼托巴所得稅法》下 12.0%（2009 年為 12.5%）。

《礦產稅法（曼尼托巴）》規定對在該省探礦活動中獲取的探礦利潤課稅。礦產稅率於 2009 年 6 月 30 日正式降低（2009 年為 18.0%），並將按利潤額分級。利潤低於 5,000 萬美元徵收稅率為 10.0%；利潤為 5,500 萬美元至 10,000 萬美元徵收稅率為 15.0%；利潤超出 10,500 萬美元徵收稅率為 17.0%。等級稅率將適用於各利潤水平分級間的利潤。

曼尼托巴業務亦須按《企業資本稅法》繳納資本稅。投入到該省的應課稅資本須繳納 0.2% 的稅款（2009 年為 0.3%）。應課稅資本超過 1,100 萬，資本稅率增加至 0.4%（2009 年為 0.5%）。根據平衡預算要求，該省擬逐步取消普通資本稅，將於 2010 年 12 月 31 日起實施。

2.21 礦產儲量的經濟評估

曼尼托巴業務現金流量折現(DCF)電子表格模型的副本並未提供給 Golder 的顧問；但是，Golder 獲允許於 Vale 安全電腦上審查及審核 DCF 模型，評估其準確性並用關鍵輸入變量測試項目敏感度。

關鍵假設

曼尼托巴業務經濟分析所用關鍵參數概要載於礦產儲量外部審核第 1 卷綜合報告關鍵假設中。



曼尼托巴業務現金流量評估

現金流量預測基於曼尼托巴業務礦床最新礦產儲量枯竭預測。Vale 及三年定價假設的曼尼托巴業務總現金流量仍然樂觀，實證項目經濟性支持礦產儲量聲明。

現金流量預測基於 2009 年 MRMR 經濟模型於 2010 年 6 月的更新版本，包括年初至今之礦產儲量枯竭，反映了如下假設：

- 財務計算基於稅後折現。
- 根據本報告第 2.20 節的討論計算稅款。
- 所有成本及價格皆為不升高的「真實」美元成本及價格。
- 經營成本包括固定及變動採礦現金成本，乃是基於採礦計劃及截至 2009 年 5 月月底的 2009 年實際成本之研磨、熔煉、精煉及運輸的變動現金成本。
- 曼尼托巴業務經常費用的固定現金成本和研磨、熔煉、精煉及本公司的成本分配基於 2009 年預算並作為分項涵蓋，並僅基於採礦規劃年限內礦產儲量中的加工鎳佔鎳總產量的年度比率隨時調整。
- 隨著採礦規劃年限的結束，在礦場開採年限結束時關閉現金成本將以總價納入。
- 單位成本假設基於 2009 年計劃（未經 Golder 審查）的界定金屬產量。
- 未來單位成本假設推定類似金屬產量。
- 資本成本包括礦場、研磨、熔煉、精煉及其他部門的預測開支。
- 產量僅基於曼尼托巴業務礦產儲量；本經濟分析不包括外部給料或精礦。
- 銅和鎳的採礦回收基於磨機模型，以及 2009 年生產計劃中更新至三月的諸因素。熔煉及精煉回收亦是基於 2009 年生產計劃。
- 收入根據可回收金屬及金屬價格與匯率（基於美國證監會報告要求（三年移動平均價格））的長期預測進行計算。銅精礦的銷售收入基於所含金屬類別包括問責因素及金屬價格與匯率的長期預測。陽極銅的銷售已涵蓋在模型中。

敏感度分析

Golder 獲允許於 Vale 安全電腦上審查及審核 DCF 模型，以對模型有所瞭解、評估其準確性並用關鍵輸入變量測試項目敏感度。



據觀察，模型包含建設成本、回收及關閉成本、聯邦和省稅詳細稅單、維持資本免稅額以及 2009 年 MRMR 報告（已更新）之準確計劃。自 2009 年 MRMR 發佈後，基礎案例成本與價格假設已更新，且該等變化已反映在模型中。

使用三年移動平均價格假設情境，對基本情況現金流量進行逐年觀察。使用 DCF 電子表格，大幅變動價格與成本假設以測試項目經濟的穩健程度。測試案例涉及於五個百分點增量中對鎳價格、資本支出、經營成本及外匯作出 +/-20% 的變動。此外，Golder 還對 6% 和 10% 貼現率之間半個百分點增量的變動效果予以測試。

結果如圖 2-10 所示。

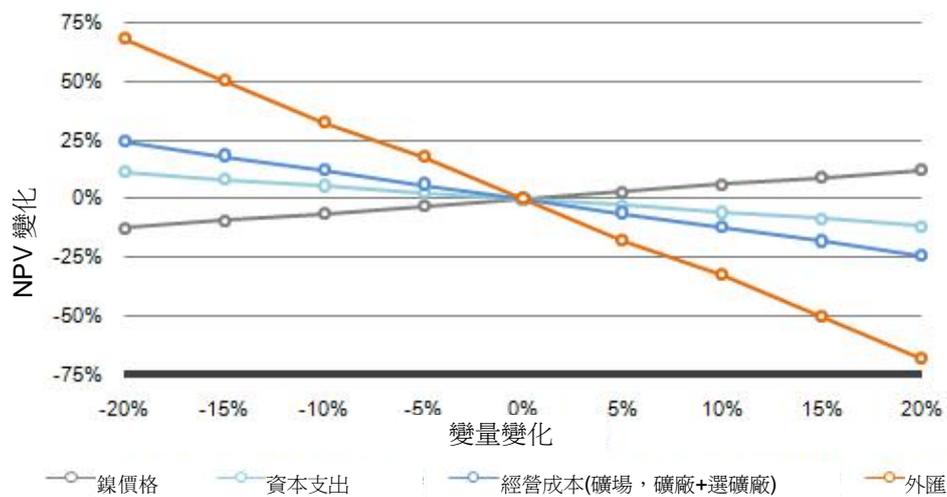


圖 2-10：曼尼托巴業務敏感度分析

淨現值(NPV)對美元/加元匯率最為敏感，而經營成本、資本成本及鎳價格對 NPV 的影響甚微。外匯被視為非常重要的價值驅動因素。NPV 對礦場資本成本的敏感度最低。

結論及建議

在所用成本及定價假設情境中（Vale 及三年移動平均值），積極的項目經濟支持礦產資源向礦產儲量的轉變。根據敏感度分析，NPV 在所有測試案例中均保持良好，顯示出穩健的項目經濟性。

由於採礦年限長且數據中包含多個之前的利益相關者，該模型顯得大而冗繁。這導致多個輸入表中的公式引用單元格複雜多樣，加之公式軌跡難以跟進。傳統模型難以進行審核且經常包含未使用資料。



2.22 採礦年限

曼尼托巴業務編製了年度採礦規劃年限(LOMP)，其中包括所有礦產儲量、礦產資源及潛在礦床。最新 LOMP 於 2009 年年底編製，涵蓋 2010 年至 2047 年（37 年）期間的產量。五年計劃（2010 年至 2014 年）僅包含整體礦產儲量。

在當前 LOMP（2009 年）中，T1、T3 及 Birchtree 礦場至 2014 年產量有所下降，而 1D 區有所上升。表 2-27 所示為曼尼托巴業務所有三個礦場五年內的礦場生產率。

表 2-27：曼尼托巴業務五年礦產量（根據 2009 年 LOMP 的採礦量，濕噸）

礦場	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年
1D	977,870	847,600	1,013,700	1,059,500	1,141,000
T1與T3	592,070	697,966	523,527	522,904	491,282
Birchtree	1,083,951	882,543	887,349	856,488	706,300
總計	2,653,891	2,428,109	2,424,576	2,438,892	2,338,582
噸每天	8,141	7,448	7,415	7,481	7,174

*濕噸（Birchtree 使用水分係數 0.982 從乾噸轉換而來）

表 2-28 所示為曼尼托巴業務鎳總產量五年計劃。至 2014 年鎳產量（磅）下降 9%，而平均採礦品位保持相對平穩。鎳產量下降是由於同期內採礦噸數下降所致。

表 2-28：曼尼托巴業務五年鎳產量（根據 2009 年 LOMP 的鎳礦產量（磅））

礦場	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年
1D	37,564,289	33,767,524	39,651,156	39,248,184	41,233,002
T1與T3	19,696,499	23,742,462	17,850,278	18,278,129	16,058,014
Birchtree	31,566,567	27,982,786	27,724,874	28,002,400	23,543,254
鎳總產量（磅）	88,827,355	85,492,772	85,226,308	85,528,713	80,834,270
品位，%鎳	1.71	1.79	1.79	1.79	1.76

目前在曼尼托巴業務中，Thompson 1D 礦場佔總產量（噸）的 37%及佔鎳總產量（磅）的 40%。十年內（或至 2020 年），1D 礦場將佔礦產量的 64%及佔鎳總產量（磅）的 66%。同日，T-1 及 T-3 礦場將僅佔總產量（礦產量（噸）及鎳產量（磅））的 6%。很明顯，1D 礦場綜合項目為曼尼托巴業務的未來，此觀點獲曼尼托巴業務員工廣泛認可。現在應用於 1D 合理化項目的投入水平顯示出此轉變的重要性。

已根據個別採礦綜合項目及採礦層位就曼尼托巴業務編製詳細 LOMP。此計劃獲不同礦區的歷史數據及因素、實際礦場計劃以及 FEL2 研究支持。五年計劃顯示相對穩定的採礦品位的產量有所下降。合資格人士對採礦年限計劃的審查已完成且未發現任何重大缺點。



參考文獻

報告

- Bilton, B. Manitoba Operation 1 D Lower HW Mineral Resource Technical Document, December 2006.
- Cloutier, J.Y., Lowen, S. and Lloyd, T. Vale Inco Limited 2009 MRMR Corporate Statement, Confidential, January 2010.
- Davidson, H. 800 Level 3-Shear Remnant Area, 2010.
- Davidson, H. 2400L North Remnant Area, October 8, 2009.
- Davidson, H. 234/236 Remnant Mineral Resource Technical Document, May 2009.
- Golder Associates Ltd. Work Package 4.3 Mine Study Footwall Deep Mine Area (FEL2) and Hangingwall Deep Mine Area (FEL1), August 2009.
- Golder Associates Ltd. 84 Deep/85 Orebody Mine Area, Birchtree Mine, June 2009.
- House, G. Manitoba Operation Thompson Mine 1 D Lower FW Deep FW Domain Mineral Resource Document, September 2008.
- House, G. Manitoba Operation Thompson Mine 1 D Lower South Extension FW Mineral Resource Technical Document, May 2008.
- Jeffrey, S., Verma, A., Howland, L., Madill, T. and Bailey, G. Sudbury Sample Preparation Lab Review (ALS Minerals).Vale Inco Memorandum, March 8, 2010.
- Jeffrey, S., Krstic, S. and Verma, A. Proposed Alternative to Automated Sample Preparation at ALS Chemex.Vale Inco Memorandum, October 7, 2009.
- Mackowiak, H. and Krstic S. ALS Chemex Audit of Vancouver Lab Facility.Vale Inco Memorandum, June 20, 2009.
- Mackowiak, H. and Krstic S. Thunder Bay Lab Audit.Vale Inco Memorandum.May 14, 2009.
- Mackowiak, H. Thompson QAQC.Vale Internal Document, April 28, 2009.
- Mackowiak, H. Yearly Audit of ALS Chemex-Sudbury Sample Preparation.Vale Inco Memorandum.November 28, 2008.
- Mayor, T. and Kelly, G. Birchtree Mineral Reserve Estimate – 2009 Technical Report, Manitoba Operations, 2009.
- McDonald, J.S.Capital Appropriation Request #602 Thompson Mine 1D Lower, December 22, 2004.
- Proulx, A. and Yamada, P. Thompson Mine Mineral Reserve Estimate – 2009 Technical Report, Manitoba Operations, December 2009.
- Proulx, A. and House, G. 1D Lower Deep FW Peer Review, August 27, 2008.
- Proulx, A. and House, G. 1D Lower South Extension FW Peer Review, May 17, 2008.



Scott Wilson Roscoe Postle Associates Inc. Draft Report on Reserve Procedures and Estimate Audit, Thompson Mine, 1D Lower, December 31, 2007.

Smith, R. And Liske, C. Manitoba Operation Consolidated 2009 MRMR Statement.Vale Inco Report, December 31, 2009.

SRK Consulting Services.Pre-feasibility Study Mining Aspects Thompson 1D Open Pit Mine, Manitoba, November 2007.

SRK Consulting Services.Mining Aspects of Pre-feasibility Study on Thompson 1C Open Pit Mine, Manitoba, August 2007.

電子表格

Assay Flags 86210.xls

June 30_2010 MRMR Summary Table.xls - *Summary Table of MO June 30, 2010 Reserves/Resources/Potential Mineral Deposits*

March Data Validation_final.xls

October Data Validation_final.xls

Thompson 2010 Checks.xls

Thompson Birchtree Mines 2009 LOMP (Official), Excel Spreadsheet.

12 – December 2008/09 T1/T3/BT WPCosts and Eff, Excel Spreadsheets.

06 – June 2010 T1/T3/BT WPCosts and Eff, Excel Spreadsheets.

列報

T3 Mine – 2010YTD

T3/1D => Current Mining Areas

Vale-Inco Limited – Manitoba Division Tailings Management Area, May 2010

圖示

Birchtree Mine Longitudinal

Birchtree Development Layouts

Longitudinals of Thompson 1D



報告簽署頁

GOLDER ASSOCIATES LTD.

David Sprott，專業工程師
合夥人，高級採礦工程師

Paul Palmer，專業工程師，專業地質學家
合夥人，高級地質學家

DS/PP/GG/GW/lb

Golder、Golder Associates 及 GA 全球設計是 Golder Associates Corporation 的商標。

c:\documents and settings\lbrunet\my documents\10-1117-0032-2000 vale audits\manitoba\vale_reserve_audit_v2_s2_manitoba_draft_2010_08_13.docx

Golder Associates 致力於成為全球專門提供地面工程及環境服務的集團公司的佼佼者。我們自 1960 年成立以來，一直為員工所有。我們創造出獨特的企業文化，員工身為公司擁有着而深感榮耀與自豪，組織結構長期穩定。Golder 的專業人士花費時間深入瞭解客戶需求及客戶經營所在的特殊環境。我們持續提升自身的技術能力，並已取得穩定增長，目前於非洲、亞洲、澳洲、歐洲、北美洲及南美洲均設有辦事處。

非洲	+ 27 11 254 4800
亞洲	+ 852 2562 3658
澳洲	+ 61 3 8862 3500
歐洲	+ 356 21 42 30 20
北美洲	+ 1 800 275 3281
南美洲	+ 55 21 3095 9500

solutions@golder.com
www.golder.com

Golder Associates Ltd.
1010 Lorne Street
Sudbury, Ontario, P3C 4R9
Canada
T:+1 (705) 524 6861