



生效日期：2010年6月30日

CELEBRATING
50
YEARS
in 2010

VALE INCO有限公司

礦產儲量的外部審計劃

卷2，第4節

PT INCO 業務，SOROWAKO 項目地段

提交對象：

Vale Inco Limited
2060 Flavelle Blvd, Sheridan Park
Mississauga, Ontario
Canada L5K 1Z9

REPORT

項目編號：10-1117-0032 Phase 4000

分發：

1 個副本- Vale Inco Limited

1 個副本- Golder Associates Pty Ltd



A world of
capabilities
delivered locally





總說明

Golder Associates Pty Ltd (Golder)的代表Iain Cooper先生（礦場首席工程師）和Ilan Lipton先生（首席地質學家）從2010年7月5日至10日進行了現場考察，對Vale估計的印尼PT Inco (PTI) Sorowako項目地段(SPA)的礦產資源量和礦產儲量進行獨立審計。

現場考察期間，他們考察採礦作業，採訪人員和收集到的資料來評估所需的適當的數據和方法來估算的資源和儲量。他們當時由 Tim Lloyd 先生（Vale-Inco 的 MRMR 首席資源量地質學家）陪伴。這項研究接觸到的人士包括：

- Robbie Rafianto: MRI 規劃及資源評估部經理
- Sorimuda Pulungan; 礦場工程部經理
- Sopi Hakim
- Prakasa Ardiyanto (Anto),
- Sudarmin
- Didi Wahyudi，長期計劃監督
- Heru Hariyadi，地質技術及水文地理監督
- Gunawan Marbun，礦場工程師，長期規劃
- Deni

電子數據的獨立核實由 Richard Gaze（首席地質統計學家）及 Gustavo Pilger（Golder 的高級地質統計學家）進行。

這項研究包括了審查技術報告、備忘錄和自 PTI 取得的輔助技術信息。以往內部和外部的技術審查和審計報告也提供給 Golder（例如，AMEC 於 2007 年開展的獨立審計）。

提供予Golder的礦物儲量估計預計符合證券交易委員會的行業指南7和Canadian National Instrument（NI）43-101使用CIM特定的術語的規定（2004年）。就該等規定並無發現例外情況。

SPA 於 2010 年 6 月 30 日的礦產儲量聲明，由 Golder 進行了審核。經 Golder 審核的礦產儲量是根據礦產資源模型，並使用成本、優化、礦山設計和調度的做法編製是合適的。Golder 接受將礦產資源轉換成礦產儲量的程序。這些數字是作適當的公開報導的目的，因為他們提供了可用礦產儲量的可接受預測。所呈報的噸數和品位是按有文件證明的成本和價格根據適當的經濟下限品位而釐定。



PT INCO 業務，SOROWAKO 項目地段審計劃

下表的礦產儲量的數字是在適當的精確水平提供，以供公共匯報。

截至 2010 年 6 月 30 日的 Sorowako 項目地段礦產儲量估計

地段	類別	公噸 DKP	%鎳	%鐵	%二氧化 矽	%氧化 鎂
	探明 (2009 MRMR)	52.9	1.88	23.72	32.42	12.17
	可能 (2009 MRMR)	10.2	1.85	21.31	33.31	13.03
Sorowako 西部區塊	探明 + 可能 (2009 MRMR)	63.1	1.88	23.33	32.57	12.31
	探明 + 可能 (已於 09 年 7 月至 10 年 6 月開採)	9.2	1.91	22.42	33.46	12.54
	探明 + 可能 (2010 年 6 月剩餘)	53.9	1.87	23.49	32.42	12.27
	探明 (2009 MRMR)	24.0	1.75	22.46	28.22	13.96
	可能 (2009 MRMR)	5.3	1.66	21.10	30.76	13.85
Sorowako 東部區塊	探明 + 可能 (2009 MRMR)	29.3	1.73	22.22	28.68	13.94
	探明 + 可能 (已於 09 年 7 月至 10 年 6 月開採)	2.8	1.66	20.61	34.50	14.85
	探明 + 可能 (2010 年 6 月剩餘)	26.5	1.74	22.39	28.05	13.84
	探明 (2009 MRMR)	11.2	1.83	16.98	34.16	20.48
	可能 (2009 MRMR)	36.7	1.65	14.70	33.90	20.32
Petea	探明 + 可能 (2009 MRMR)	47.8	1.70	15.23	33.96	20.36
	探明 + 可能 (已於 09 年 7 月至 10 年 6 月開採)	9.5	1.67	15.17	34.50	21.15
	探明 + 可能 (2010 年 6 月剩餘)	38.3	1.70	15.25	33.83	20.16
褐鐵礦	探明 + 可能 (2010 年 6 月剩餘)	0.4	1.38	40.80	10.39	1.68
總計	探明 + 可能 (2010 年 6 月剩餘)	119.0	1.79	20.64	31.83	15.13

註：耗盡儲量是按 MRMR 2009 - 實際生產從 09 年 7 月至 10 年 6 月

重要的意見

- **Golder 信納 PTI 已履行所有法律義務，故此認為宣稱礦產儲量並無障礙。然而，考慮到 CoW 的複雜情況、近期變更的探礦法，PTI 保證年期及有效地經營 SPA 的能力存有一些風險。PTI 現正透過與相關政府部門展開討論以管理此項風險。**



- 根據 SPA 所提供就 QAQC 所作的分析，SPA 對樣本的編製和化驗符合行業標準，適宜用作估計礦產儲量，而精確性的錯誤屬可予接受，並無發現重大的偏執情況。自 2008 年的審計以來，交叉樣本污染已有大幅改善 (AMEC，2009 年)。
- 利用積聚物以估計殘餘土的一般方法是有力的，它正確地說明粒度級份額品位及其相應乾燥重量的載體效應。
- 於礦產資源量被考慮為礦產儲量之前對它們應用經濟、地理學、經營性及環境約束的整體程序是應該贊同的。
- 礦產儲量修正因素是多年以來所建立和合理的。
- 採礦方法已於礦場年期內建立及改善。選擇性的開採、將採空的礦場關閉和修復是採礦方法的主要部分。選擇性開採的目標是確保符合混合礦物的參數。採礦工作是受到適當監督的。
- 在同時使用成本和定價假設的境況 (Vale 及三年移動平均) 中，正面的項目經濟情況支持將礦產資源量轉化為礦產儲量。根據敏感度分析，在所有測試的個案中，淨現值均是正數，顯示項目的經濟情況卻相當雄厚。
- PTI 礦場年期考慮了新的採礦法，故此目前的礦產儲量並無呈報 2035 年後的礦化物料。



目錄

4.0 印尼 PT INCO (PTI) SOROWAKO 項目地段.....	4-1
4.1 位置.....	4-1
4.2 擁有權.....	4-2
4.3 土地年期和採礦權.....	4-8
4.4 基礎設施.....	4-5
4.5 生產過程和產品.....	4-6
4.6 金屬回收率.....	4-8
4.7 市場.....	4-9
4.8 生產歷史.....	4-9
4.9 地質和礦藏.....	4-10
4.10 勘探與開發鑽探.....	4-12
4.11 礦藏採樣方法和數據庫管理.....	4-13
4.12 礦產資源量估計.....	4-22
4.13 礦產儲量估計.....	4-30
4.14 呈報的礦產儲量.....	4-60
4.15 核對及儲量審計.....	4-62
4.16 環境.....	4-63
4.17 社區及政府事務.....	4-64
4.18 運營成本.....	4-64
4.19 資本成本.....	4-66
4.20 稅務.....	4-67
4.21 礦產儲量經濟評估.....	4-67
4.22 礦場年期.....	4-68
4.23 報告附註.....	4-69

表

表 4-1：PTI 於 Sulawesi 的特許權地段(Kroll <i>et al</i> , 2009b).....	4-3
表 4-2：DKP 的過往礦場生產（百萬幹噸計）.....	4-9
表 4-3：歷史鑽探 Sorowako 項目地段.....	4-13



表 4-4：標準樣品提交及所接受的價值.....	4-18
表 4-5：標準樣品分析結果.....	4-18
表 4-6：SPA 的產地重複樣品和實驗室重複樣品的分析結果.....	4-20
表 4-7：資源量模型審計選定區塊塑建地段.....	4-24
表 4-8：用於品位估計的廣義搜索參數.....	4-28
表 4-9：礦產資源量分類標準.....	4-29
表 4-10：採礦物料類型定義.....	4-35
表 4-11：SSP 和 DKP 的因素.....	4-35
表 4-12：廠房回收率因素.....	4-36
表 4-13：化學規格.....	4-36
表 4-14：計劃受干擾地段.....	4-38
表 4-15：挖鬥機及挖掘機.....	4-49
表 4-16：自卸卡車.....	4-49
表 4-17：輪式裝載機.....	4-49
表 4-18：推土機.....	4-50
表 4-19：鑽探機.....	4-50
表 4-20：2010 年設備時間.....	4-52
表 4-21：生產進度表概要.....	4-55
表 4-22：LOM 的生產概要.....	4-56
表 4-23：優化比較.....	4-60
表 4-24：截至 2010 年 6 月 30 日礦產儲量表（單位：百萬公噸的 DKP）.....	4-61
表 4-25：礦產儲量比較.....	4-62
表 4-26：與 OB 和 Bz 接觸的頂部和底部礦石的百分比得失.....	4-63
表 4-27：PTI2010 年 LOM 預算案（Kroll <i>et al</i> , 2009a）.....	4-65
表 4-28：採礦單位成本.....	4-65
表 4-29：加工單位成本.....	4-66
表 4-30：五年度的資本預算（Kroll <i>et al</i> , 2009a）.....	4-66
表 4-31：本報告中使用的縮寫.....	4-69

圖

圖 4-1：印尼 Sulawesi.....	Error! Bookmark not defined.
圖 4-2：Sorowako 鎳項目的場址位置（PTI）.....	4-2



圖 4-3：工程合約特許權地圖（PTI）	4-4
圖 4-4：PT Inco Plant 流程表（Kroll et al, 2009b）	4-8
圖 4-5：Sorowako 鐵礬土礦床廣義剖面	4-12
圖 4-6：在 Golder 實地考察中發現的金剛石鑽探	4-14
圖 4-7：岩芯樣品製備	4-16
圖 4-8：未加工樣品的有序鎳系列	4-19
圖 4-9：未加工樣品的有序鐵系列	4-20
圖 4-10：Anoa South 橫截面 7,375 N 顯示殘餘土厚度變化很大	4-23
圖 4-11：Anoa South South -長度為 1 米複合材料的分佈，顯示剩餘 (<1 米) 樣本比例	4-25
圖 4-12：西部區塊地質資料（圖片 PTI）	4-31
圖 4-13：Petea 地質資料（圖片 PTI）	4-32
圖 4-14：不規則的礦底板（圖片 Golder）	4-32
圖 4-15：顯示有大石頭的不規則礦底板（圖片 Golder）	4-33
圖 4-16：礦石類型分類（PTI）	4-34
圖 4-17：典型隔間（PTI）	4-37
圖 4-18：礦山與隔間基礎設施（PTI）	4-37
圖 4-19：Anoa South 500 階地	4-38
圖 4-20：使用廢舊材料和礦底板礦渣（圖片 PTI）	4-39
圖 4-21：表土去除（圖片 PTI）	4-40
圖 4-22：露天礦地層表土剝離（圖片 PTI）	4-41
圖 4-23：礦石鑑定（圖片 PTI）	4-42
圖 4-24：底部礦石回收（圖片 PTI）	4-43
圖 4-25：直接傾倒物料（PTI）	4-44
圖 4-26：半誘導和棘爪處置（PTI）	4-44
圖 4-27：棘手傾倒（圖片 PTI）	4-45
圖 4-28：篩檢站（PTI）	4-46
圖 4-29：礦井斜坡設計（PTI）	4-47
圖 4-30：礦井設計的外圓角	4-48
圖 4-31：設備利用和生產率（PTI）	4-51
圖 4-32：PTI 日產	4-52
圖 4-33：調度系統（PTI）	4-53
圖 4-34：調度工作站（PTI）	4-54



圖 4-35：LOM 的年產..... 4-57

圖 4-36：LOM 的 SSP 和 DKP 生產..... 4-57

圖 4-37：LOM 的鎳品位和生產..... 4-58

圖 4-38：LOM 的鐵、二氧化矽和氧化鎂品位和 S / M 比值..... 4-58

圖 4-39：Batu Hill 手工設計和優化比較（PTI..... 4-59

圖 4-40：PTI 業務敏感性分析 4-68



4.0 印尼 PT INCO (PTI) Sorowako 項目地段

4.1 位置

該 Sorowako 項目位於印尼 Sulawesi 島 (圖 4-1)。Sorowako 業務位於 Sorowako 附近的村，距離沿海 Malili 城鎮約 50 公里和距離 South Sulawesi 的 Makassar 市約 600 公里。從 Makassar 到 Sorowako 訪問是通過鋪平的道路。Sorowako 有瀝青飛機跑道和可乘搭固定翼飛機抵達。

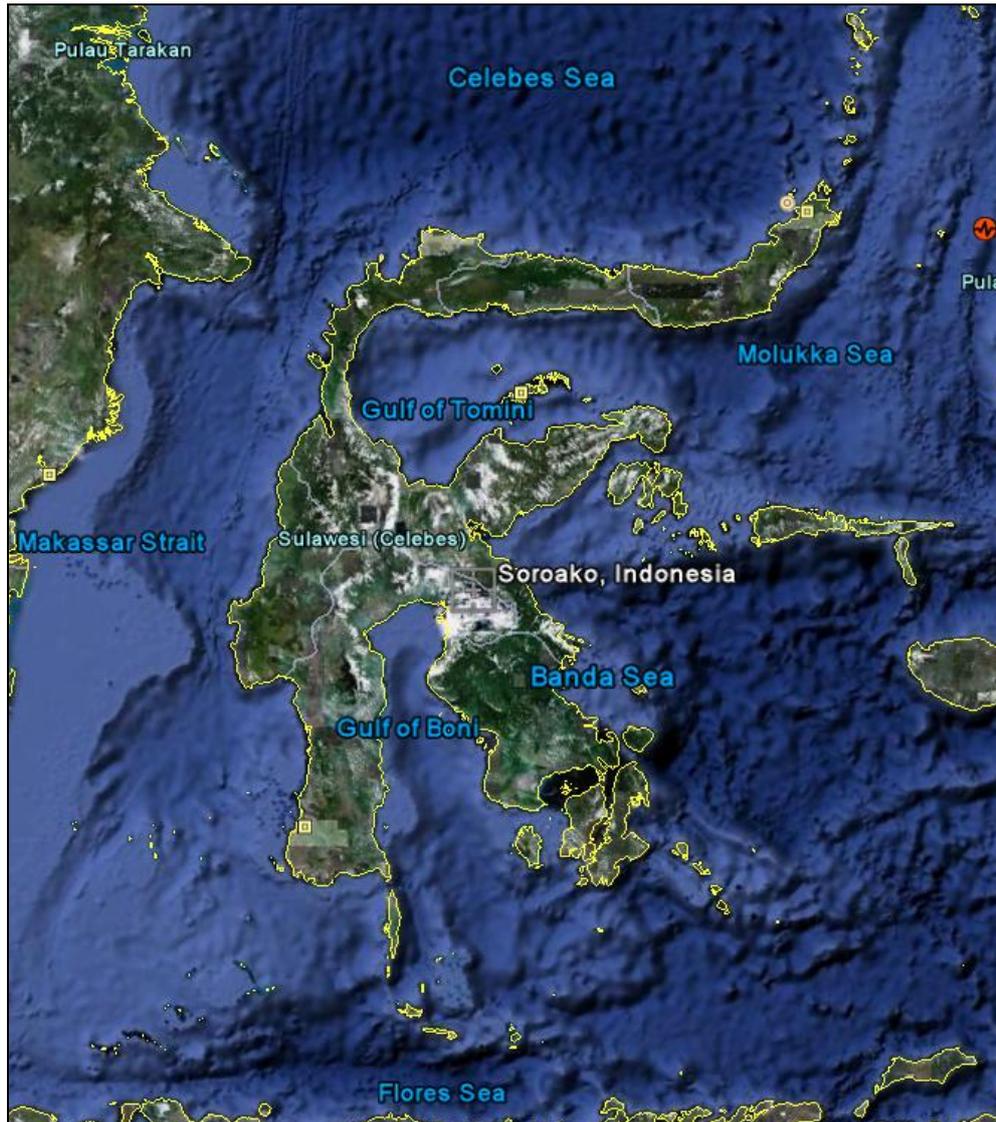


圖 4-1 : 印尼 Sulawesi

該地區具有典型的熱帶氣候，潮濕多雨。溫度範圍介乎 19 - 30 °C，年降水量約 3000 毫米。開採及加工操作貫穿全年。採礦作業可能會在傾盆大雨的短暫期間暫時停止。

Sorowako 項目地段 (圖 4-2) 橫跨 Lake Matano 東部。Sorowako (Lake Matano 以南) 連綿起伏的丘陵地區海拔介乎 400 至 800 米。緊接 Sorowako 西面，那裡超鎂鐵岩要接觸中生代沉積物，海拔達到 1200 米。許多盆地和天坑類型特徵和高原 (如工廠區) 坐落在超地形。平坦的平原鄰近 Sorowako 村。Sorowako 大部分地區水渠通過 Tapulemo, Lawewu 及 Lamoare 小溪向北流入 Lake Matano，。Sorowako 東部地區水渠直接排入 Lake Mahalona 和 Petea River。



具疏導作用的 Petea 地段海拔介乎 1100 米到 400 米。Petea 地段由兩到三組向 S – SW 傾斜的 W - NW 台地組成。該地段西部地區水渠通過幾條小溪直接流入東部的 Lake Matano，而 Petea 地段東部排水入 Petea River 和 Lake Mahalona。

該地段最突出的地貌特徵為 Lake Matano 的地壘式結構。長窄的湖深約 600 米，並代表部分地區性 Matano 斷裂帶。項目地段具有典型的印尼森林茂密的雨林植被。植被，尤其是灌木叢，由於肥沃土壤更多，是較重的非超地形。

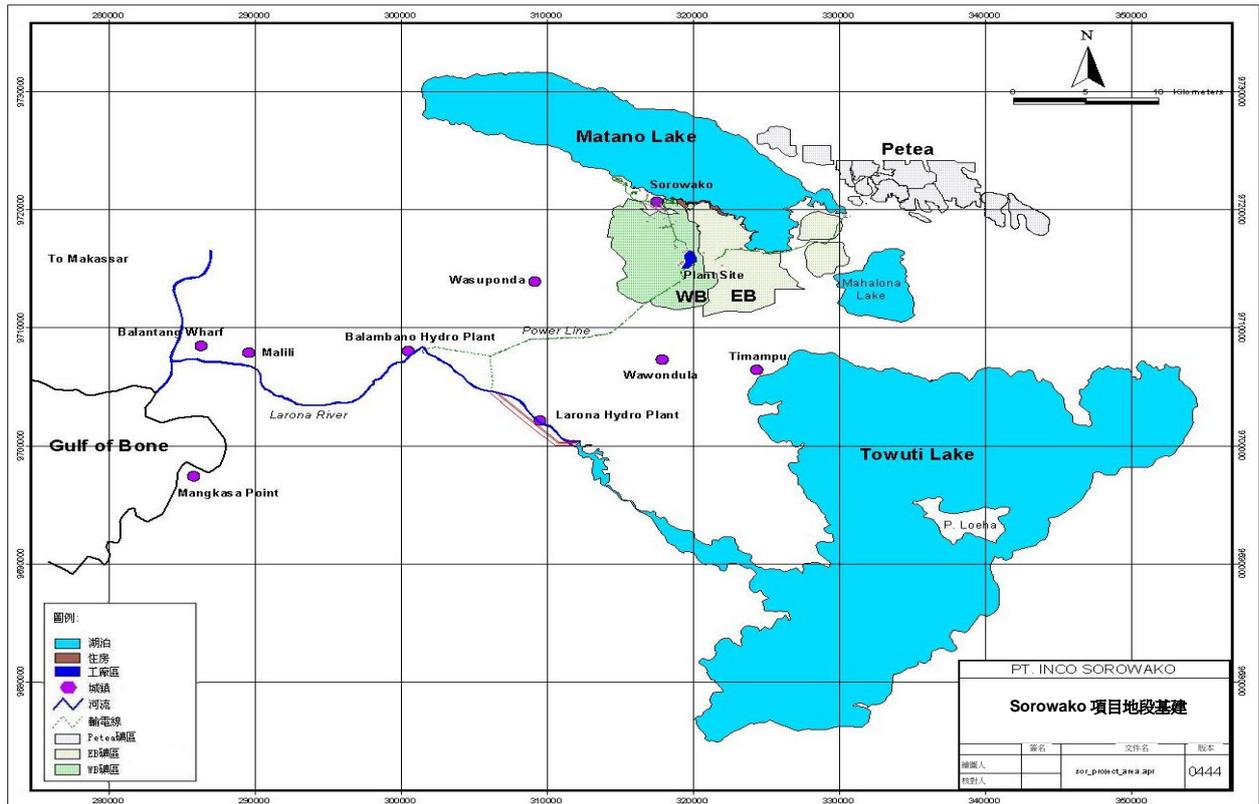


圖 4-2 : Sorowako 鎳項目場址位置 (PTI)

4.2 擁有權

PTI 是一家在印尼證券交易所公開上市的公司。Vale 於 2007 年購入 Inco，獲得 PTI 股權的 58.73%，而 Sumitomo Metal Mining Co. Ltd (Sumitomo) 持有其略超過 20% 股權，公眾和其他股東持有餘下股權。

4.3 土地年期和採礦權

為了能夠聲明一個礦產資源和礦產儲量，PTI 必須持有適當的所有權租賃使他們能夠繼續經營礦井。

PTI 的工程合約(CoW)地段在 Sulawesi，包括 218,529 公頃，分為十四個獨立的區塊（表 4-1）。十三個區塊具鐵礬土潛力，有一個區塊（Latao 地段）具鉻鐵礦潛力。



表 4-1：PTI 在 Sulawesi 的特許權地段 (Kroll et al, 2009b)

省	特許權區塊	公頃
Central Sulawesi	Kolondale	4,512.35
(合計：36,635.36 公頃或 16.8%)	Bahodopi	32,123.01
South Sulawesi	Sorowako - Towuti	108,377.25
(合計：118,387.45 公頃或 54.2%)	Matano	6,176.48
	Bulubalang	2,249.33
	Lingke	1,584.39
Southeast Sulawesi	Latao	3,148.11
(合計：63,506.18 公頃或 29.1%)	Matarape	1,679.87
	Lasolo	4,086.87
	Totobulu	13,817.05
	Pomalaa	20,286.19
	Paopao	6,785.75
	Suasua	10,372.68
	Malapulu (Kabaena 島)	3,329.66
	總數	218,528.99

工程合約分為三個行政省份：Central Sulawesi (16.8%)，South Sulawesi (54.2%)，Southeast Sulawesi (29.1%)。Sorowako 項目地段是 South Sulawesi 的 Sorowako – Towuti 特許權區塊的一部分。工程合約的特許權地圖如圖 4-3 所示。

Sorowako 項目的初步地段包括東部和西部區塊的 10,010 公頃。勘探和礦山開發則已超越這一地段，擴展 Petea 至東北廣大地段。

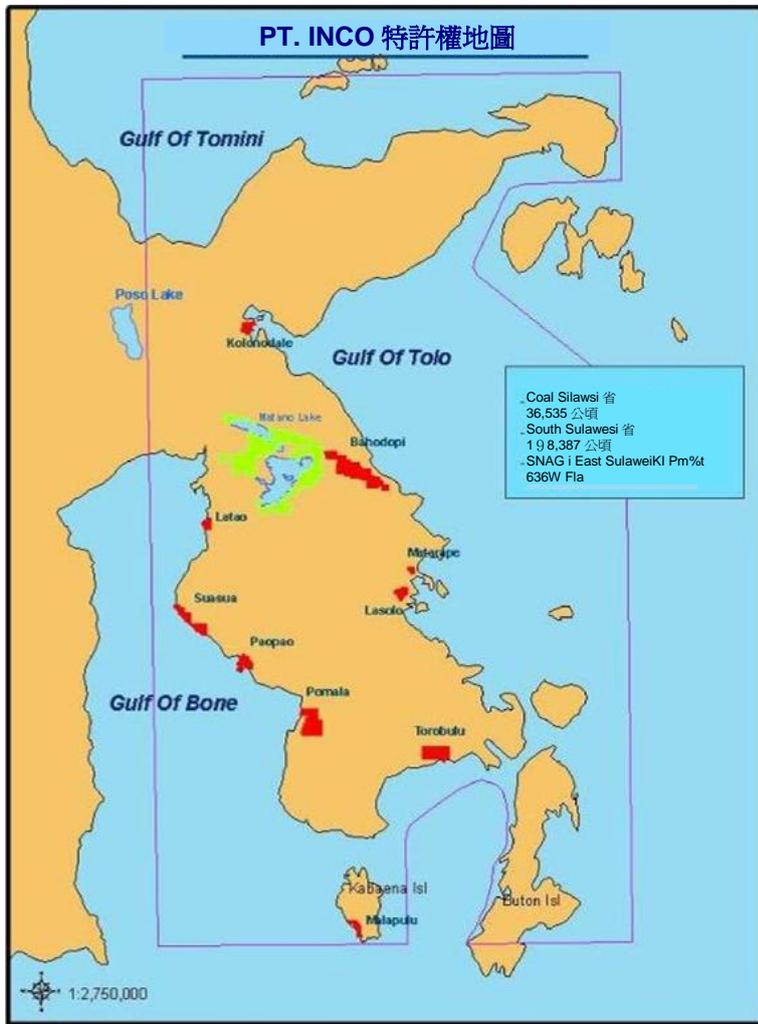


圖 4-3：工程合約特許權地圖 (PTI)

PTI 在 MRMR2009 年報告中呈報下列資料：

「原有的 660 萬公頃特許權於 1968 年 07 月 27 日獲授，覆蓋 Sulawesi 的東部和東南部。通過九個地段的讓渡（最後一個在 1979 年），目前的特許權地段已減少至原有特許權的 3.3%。商業生產開始於 1978 年 4 月 1 日。

根據原來的工程合約或印度尼西亞共和國政府和 PT Inco 於 1968 年簽訂的特許權協議，授予 30 年生產期，有效期至 2008 年 3 月 31 日。工程合約透過 1996 年 1 月訂立的修訂及擴展協議進行了修訂和擴展（以下簡稱「工程合約」）。工程合約有效期至 2025 年 12 月 28 日。

PT Inco 作為唯一在工程合約中所涵蓋的地區工作的政府承包商，已被授予專有權，可在工程合約領域內於 Island of Sulawesi 特定地區勘探、開發、開採、加工、儲存、運輸和銷售任何形式的所有鎳和含鎳礦物及鎳相關的所有礦物。工程合約也授予 PT Inco 一切必要的執照和許可證以進行其業務活動，包括某些業務擴



展，如工程合約所規定。然而，在某些情況下，PT Inco 已被要求自政府各部委和各級政府取得許可證和執照。此外，政府可能基於工程合約中規定的某些有限的理由否決施工計劃，運營或擴張。

印尼 1999 年第 41 號法律限制露天採礦和其他一些定為「保護森林」領域內的活動，不納入就 PT Inco 的工程合約預先存在的採礦合約和許可證中的過渡性條文。PT Inco 被授權根據其工程合約進行開採的部分地段被認為是保護森林。

根據工程合約，PT Inco 已同意在 South East Sulawesi 的 Pomalaa 和 Central Sulawesi 的 Bahodopi 建造生產工廠（受經濟和技術可行性規限）。工程合約表明，第一家工廠可能在 2005 年左右運作，第二家約在 2010 年運作，但沒有具體說明是哪家工廠首先興建。

截至 2008 年 7 月 18 日，繼合作資源量協議（CRA）屆滿後，PT Inco 已停止為其 Pomalaa 的 FeNi III 工廠向 PT Aneka Tambang Tbk 公司（PT Antam）供應礦石。隨著向 PT Antam 的礦石供應終止，並根據自能源及礦產資源部（Minister of Energy and Mineral Resources）收到的函件，PT Inco 被要求於 2009 年 4 月前提供一份報告，評估在 Pomalaa 建造一條高壓酸浸處理設施，生產氫氧化鎳（鎳中間產品）的經濟和技術可行性，年生產能力約 30,000 噸。報告的結論認為，在目前的假設下，此時建設這樣一個加工廠在技術和經濟上並不可行。PT Inco 要求增加 2 年期間進行進一步研究。2009 年 6 月 23 日，政府回應要求 PT Inco 最遲在 2009 年 12 月底恢復進一步研究。

此外，由於在 Pomalaa 加工廠目前在技術上和經濟上並不可行，年生產能力為處理來自 Pomalaa 的氫氧化鎳約 30,000 噸的 Bahodopi 提煉設施目前亦不可行（除非有替代礦料來源）。

應當指出，任何項目的發展均須遵守與有關各級政府的協議（包括長期工程合約的條款），協議內容涉及保障和激勵措施，支持重大資本參與投資及滿足投資回報考慮。

印尼議會於 2008 年 12 月 16 日通過了一項新的採礦法，取代了 1967 年的採礦法。新的採礦法於 2009 年 1 月 12 日頒布並生效。它規定了廣泛的監管架構，並規定將於自其生效日期起計一年內（即最遲在 2010 年 1 月 12 日）頒佈的實施條例內澄清許多重要的細節。條例草案已由 DEMR 編纂。該新規定對 PT Inco 現有工程合約的影響須待實施條例獲得通過方會明確。」

Golder 信納 PTI 已履行所有法律義務，故此認為宣稱礦產儲量並無障礙。然而，考慮到 CoW 的複雜情況、近期變更的採礦法，PTI 保證年期及有效地經營 SPA 的能力存有一些風險。PTI 現正透過與相關政府部門展開討論以管理此項風險。

4.4 基礎設施

Kroll et al (2009a) 總結 SPA 工廠基礎設施，其中包括：

- 兩個水利項目共產生 323 兆瓦的電力。
- 柴油和蒸汽發電機，總容量為 46 兆瓦。
- 一個機場跑道位於 Sorowako 村。
- 醫院、城址、道路和學校。
- 距離 Sorowako 約 70 公里的 Malili 港口的油倉儲和碼頭設施。
- 三個礦區：指定的東部區塊，西部區塊和 Petea。
- 一個集成的礦化物料乾燥、還原冶煉和吹煉設施。



- 辦事處及服務設施。
- 取自 Lake Matano 的飲用水和生產用水。
- 指定作殘渣處理、礦場廢料處置、濕礦石堆積場及沉澱池的適宜地區。

採礦作業自 1978 年以來已成功運行。基礎設施符合其需要。

4.5 生產過程和產品

以下概述轉載自 Kroll *et al* (2009a, 2009b)。

Soroako 項目地段 (SPA) 礦產儲量包括三個地段的礦藏：西部區塊、東部區塊和 Petea。該加工廠位於 Harapan，介乎西部和東部區塊之間，並專門由該等地段取得礦化物料，直到 2005 年。Petea 開採始於 2005 年，取代了自東部區塊取得礦化物料。

礦藏通常是在單獨的礦山劃定，礦產資源和礦產儲量在每座礦山可分成幾種模式。就開採計劃而言，礦山分為隔間，每個隔間都有自己的採礦計劃和時間表。隔間系統主要用於管理採空區回填廢料的需要，盡量減少廢物運輸距離。沒有外部廢料場。

SPA 的 PTI 目前按礦化物料類型經營兩個礦區：西部區塊礦區用於西部類型的礦化物料和 Petea 礦區用於東部類型的礦化物料。Petea 是於 2005 年開始生產的新礦區，預計將繼續在 Sorowako 項目整個年期中被開採，以取代東部區塊傳統的東部類型物料。雖然 Petea 是一個新的採礦位置，礦化類型類似於最初在東部區塊發現的高度蛇紋石化的各種殘餘土。另一方面，東部區塊剩餘礦化已經重新評估為 -1”高橄欖石材料 (西部類型物料)。

表面開採不是傳統的露天開採，但更多的是由卡車和挖斗機進行的「露天」系統，在輪廓邊切割做成一座小山。從八至十座小山組成的任何地方積極挖掘，提供符合鎳加工廠礦料質量規格 (礦石化學) 的原礦 (ROM) 礦料的。

ROM 是交付給五個篩檢站的其中一個。篩檢規模根據所交付的礦化類型而有所不同；大小為 -2”的西礦產品和大小為 -6”的東部類型礦化。有些礦化也在篩檢站粉碎。篩檢站產品 (SSP) 用卡車載運到濕礦堆積場 (WOS)。WOS 由 29 個獨立隔間組成，進行不同化學成分的礦化作用。該隔間是建立在一個傾斜的基地，其中有充滿了排水渠，其內填滿透水碎石，並以土工布和粗岩石覆蓋。排水渠旨在促進囤積物脫水，但在實踐中他們在一段時間後便被堵塞了，且效益低。工廠礦料駐留在 WOS 至少六個星期，以便在出現一些乾燥，然後混合礦料會提供給乾燥窯完成乾燥程序。WOS 隔間是以打開—裝填—關閉方式運作，空循環，使隔間的品位眾所周知和乾燥窯的混合可管理。

迴轉窯產品被稱為乾燥窯產品 (DKP)。DKP 被放置在乾礦堆積場 (DOS)，直至回收和給料至還原爐窯。六個堆積場目前設在兩個大棚舍。DOS 礦石然後予以混合，輸送到亞光廠前端的爐窯。

對給料至熔銻廠的礦化物的質量控制在窄小的化學限制之內極為重要。這種控制是通過在礦面，篩檢站及乾燥窯產品的廣泛採樣，並通過篩檢站，WOS 及 DOS 精心混合礦化物實現。SSP 的 LOM 計劃的化學目標是 20% 鐵和矽 / 鎂比 2.1，PTI 預計將適用於西部篩檢站從 4”到 2”獲取率的改善。

鎳加工

Golder 審查 Kroll *et al* (2009a, 2009b) 所述加工過程，和進行現場討論。加工流程圖摘要見表 4-4，這表明該加工廠涉及許多複雜操作階段的處理。

PT Inco 使用的火法鎳加工過程涉及在乾燥過程中的初始礦化，其次是還原、冶煉和加工，生產最終的乾燥產品。



乾燥—將來自 WOS 的濕礦化物給料到三迴轉窯烘乾機。這個過程部分將水份含量為 30 至 40% 的礦料烘乾至生產出具有較低水份含量（19 至 21%）的 DKP。東部和西西部礦化物類型分別篩檢產出 -1”DKP，每種類型的礦化產品放置在乾礦石倉儲用房內各自的礦堆中。

還原—從乾礦石倉庫來的礦化物給料至逆流還原爐窯。東部和西部類型 礦化物混合使用。這一還原由三個區窯組成，其溫度和還原電位遞增。第一個區窯預先加熱水份含量為 19 至 21% 的 DKP 礦料，完全乾燥。第二個區窯被稱為焙燒帶，消除了水的結晶。第三個區窯稱為還原帶，有助於完成大部分的部分還原，它是 通過注射高硫燃料油實現。硫是引進並結合了鐵和鎳，形成鐵鎳硫化物。還原爐窯產品稱為煨燒物。煨燒礦化物 溢出還原爐窯的出料端，進入精煉料倉，並運到爐前料箱。

冶煉—煨燒是在電爐冶煉 操作模式冶煉。在這裡，氧化物（礦渣）與硫化物（熔銻）相分離。礦渣幾乎不斷從熔爐中撤出並被處置。熔銻在轉化爐定時轉動。該熔銻化驗分析為含 25-28% 的鎳。

熔銻通過金屬容器轉送至轉化爐。吹入空氣/氧氣使餘下的鐵氧化。加入通量的二氧化碳不斷增加鐵的氧化，然後廢棄。轉化過程中，低品位的電爐熔銻轉化為鎳高銻，一般分析為含鎳 78%，含 S20% 和含鈷 2%。

最後，轉化器產品是顆粒狀，烘乾，篩檢，包裝袋裝運。PTI 獲支付當時倫敦交易所（LME）鎳價的 78%。目前每年生產大約 1.7 億磅鎳銻。已決定在 Larona River 上興建第三個大壩，作為資本開支計劃的一部分，旨在增加產量至每年約 2 億磅鎳銻。

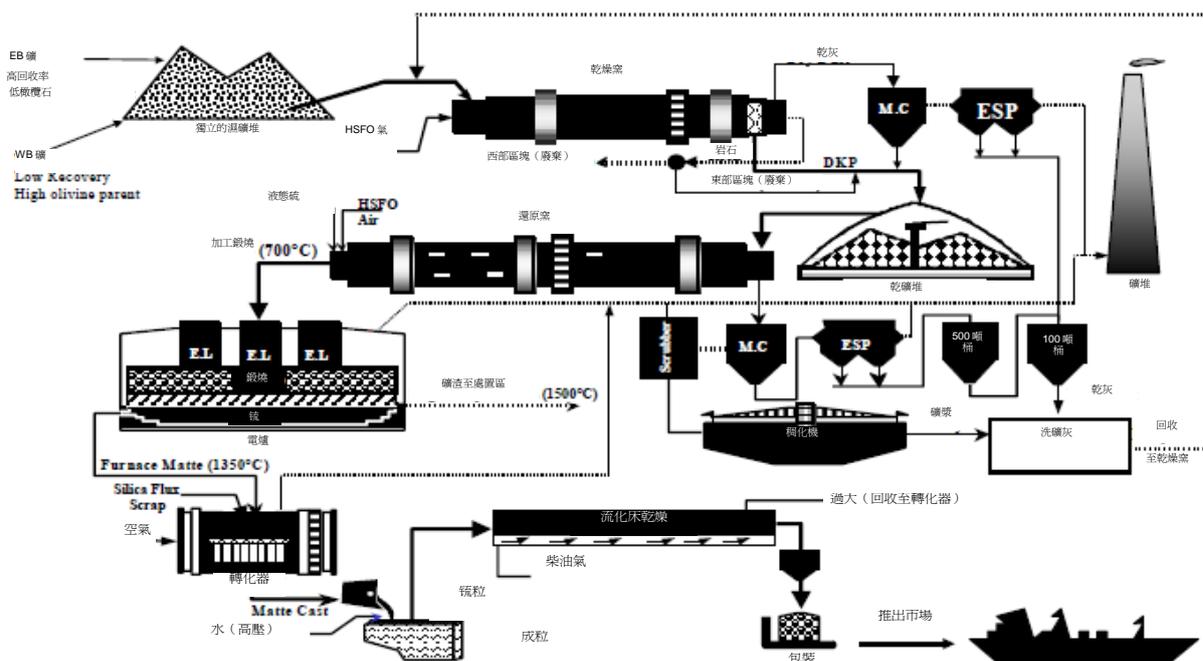


圖 4-4 : PT Inco Plant 加工流程表 (來自 Kroll et al, 2009b)

運作方面的考慮

Golder 自 Kroll et al (2009b) 注意到有關鎳加工的以下幾個方面：

西部區塊礦化物初步冶煉產生了高度腐蝕性礦渣，造成耐火內層滿功率的腐蝕。礦渣的二氧化矽 / 鎂比 2.2~2.4 對鹼性耐火材料爐而言酸性太重，再加上液相溫度太低。

PTI 透過採用下列措施減輕此情況：

- 礦料較高的過熱，防止在礦渣沉積在耐火牆



- 加入更多鹼性的東部區塊類型的礦料和西部區塊型的礦化物混合，以達到可以接受的液相溫度。
- 為耐火材料爐創建一個礦渣保護層，方式是採用水冷銅彈片纏繞礦渣區取代以落下的水冷卻爐殼。

這些變化成功地穩定了高爐操作，雖然功耗較高，礦料品位較低。在過去幾年，控制化學礦料和礦化物酸度偏差的某些改進已降低了東部區塊型礦料的比重。這已產生了較高的礦料品位和增加了鎳銻的生產。

4.6 金屬回收率

根據 2004-2009 年加工廠的平均業績，用於估計礦產儲量的加工廠的鎳回收率為 86.3%。加工廠回收率從 2008 年的 85% 上升至 2009 年的 88.9%。由於改善了未入賬的鎳損失計算而實現。為 LOM 財務分析目的，五年平均回收率約 86% 已被使用。

4.7 市場

Golder 審查了以下來自 Kroll *et al* (2009a) 的信息，並認為它是可靠和真實。

PTI 的全部產品根據長期合約銷售予 Inco 和 Sumitomo，這將持續到工程合約期滿。這些合約規定，如果工程合約延長或續簽，則合約將被延長的期限延長或續簽。

目前，PTI 生產鎳銻。隨著時間的推移，取決於礦產分佈和礦床組合，加工技術和其他因素，鎳含量和雜質可能會有不同。最終產品形式預計可直接用於生產不銹鋼。

不銹鋼生產用的初級鎳需求約佔 2007 年全球鎳需求的 60% 或約 815,000 噸鎳。

4.8 生產歷史

表 4-2 列出了 1976 年至 2009 年 PTI 三個主要採礦區塊的煤礦生產（基於 PTI 的乾窯產品（DKP））和鎳的平均品位的。DKP 受專利使用費規限。

PTI 的礦生產策略是提供混合礦料，優化加工廠運作和吞吐量。當前化學目標是供應過磷酸鈣混合物 @20.0% 鐵，矽/鎂比值為 2.10。

在 1976 年試生產中遇到的問題是高酸西部區塊礦化作用，以混合東部區塊少矽質礦化物方式進行處理。1978 年 4 月開始全面投產，生產出的鎳銻平均含 78% 鎳、2% 鈷和 20% S。

表 4-2：DKP 煤礦生產歷史（百萬幹噸）

西部區塊的 DKP (1976 年 - 2009 年)		東部區塊的 DKP (1979 年 - 2005 年)		PeteeDKP (2006 年 - 2009 年)		總 DKP (1976 年 - 2009 年)	
公噸 (DKP)	% 鎳	公噸 (DKP)	% 鎳	公噸 (DKP)	% 鎳	公噸 (DKP)	% 鎳
40.8	2.04	32.1	1.76	5.5	1.84	78.4	1.91



4.9 地質和礦藏

區域地質背景

Vale 人員充分了解區域、地方和礦山地質，並足夠認識礦產儲量的報告。下面的說明是摘自 PTI 的報告：

「該地區已被細分為四個 lithotectonic 單位，以大型位錯和逆衝斷層為界。這些都是從西到東：（一）西 Sulawesi 火山深成弧形，（二）中 Sulawesi 變質帶，（三）東 Sulawesi 蛇綠岩帶，以及（四）Banggai-Sula 大陸碎塊、土炕 *Tulang Besi* 和 *Buton*。

東 Sulawesi 蛇綠岩 (ESO) 是一種分體蛇綠岩，是於中生代深海沉積物構造，可能包括印度洋 MORB，邊緣盆地地殼，屬 Sundaland 弧前或太平洋板塊海洋高原的組成部分。ESO 是世界上三大的蛇綠岩之一。總長度由 Gorontalo Bay 開始約 700 公里，透過 East Arm 和中部 Sulawesi 朝向 Southeast Arm 和 Buton 和 Kabaena 島嶼，還延伸到 South Arm 的 Lamasi 綜合體（穿過 Gulf of Bone）。蛇綠岩的夾層和與中生代和第三紀沉積岩複雜並列，成因是晚漸新世/早中新世碰撞，隨後的收縮，後來走向斷層。

Sorowako 超鎂鐵質綜合體是大型湖泊面積超鎂鐵質岩體的一部分，從 Sulawesi 東部沿海延伸到 Matano Lake 西端。在本地，綜合體在西部以西傾逆衝斷層為界，將它從中生代沉積物中分隔出來，並在東南部透過第三紀沉積物分隔出來。綜合體細分為四個不同的超鎂鐵質領域，即西部區塊、東部區塊、Petea 和超鎂鐵質礫岩。

西部區塊 (Unserpentinized Hazburgite) 通常為方輝橄欖岩，因為它們含有橄欖石 (平均 80-90%) 和斜方輝石 (平均 10-20%)。發現少量半自形鎢鐵礦，一般為 1% 或更少。斜輝石的痕跡是本地遇到的問題。亦發現少於 90% 橄欖石的純橄欖岩和少量的半自形鎢鐵礦。看到薄蛇紋石碎填料薄薄地覆蓋在肉眼可見的破損的軟蛇紋石樣品表面。

東部區塊 (蛇紋石化二輝橄欖岩) 通常二輝橄欖岩包含橄欖石 (平均 60-65%)，斜方輝石 (平均 25-30%) 和單斜輝石 (平均 10%)。發現少量的他形鎢鐵礦，一般在 1% 以下。也存在斜方輝橄欖岩和純橄欖岩。三個純橄欖岩中有兩個高度蛇紋石化，原來的礦物學認為是 99% 橄欖石。東部區塊這些岩石是可變的蛇紋石。從東部區塊東部取得的樣品是弱到中度蛇紋石，而東部區塊西部到西部區塊取得的樣品則是強蛇紋石，並稱為傳統的東方。

超鎂鐵質礫岩 (超鎂鐵質沉積物) 和砂岩在相當多的地區被發現，並已納入上述不整合的超鎂鐵質基石。粗粒含量完全由超鎂鐵質組成。礫岩往往有一種多孔沙矩陣，往往充滿了次生矽酸鹽沉澱物 (包括矽鎂鎳礦)。大石塊和鵝卵石趨於圓潤，疊瓦狀橢球常蛇紋石化，幾乎總是沿著外緣蛇紋石化。在砂岩組分的沙子大多是近圓形蛇紋石顆粒或部分蛇紋石化輝石和角閃石。孔隙空間充滿了各向同性蛇紋石。橄欖岩和礫岩之間的接觸面不規則和尖銳，許多作者把礫岩解釋為嵌入超鎂鐵質的礦床。

Petea (蛇紋石化 Hazburgite 和二輝橄欖岩) 是潛在的有利鐵礬土地貌，距東部的 Lake Matano 東岸到 Lampesue 地區延長距離為 30 公里。Tanamera 和 Petea 地段 (位於西部) 約佔這個大遠景區一半。迄今在 Petea 地段勘探超鎂鐵質岩石顯示方輝橄欖岩和二輝橄欖岩的岩性基本上已經中度至高度蛇紋石化。未蛇紋石化的橄欖岩 (西部區塊型) 不存在於該地區。幾乎 95% 的系統岩石樣本岩芯洞坑分析和探孔測試表明橄欖石含量低於 20%。Petea 地段由於 Matano Fault 發生了廣泛的二級構造。這個二級斷層負責排水本地化，並透過提供足夠的地下水流動渠道，加速了鐵礬土的發育。在 Petea 發育的鐵礬土剖面非常相似於 Sorowako 地段所發育者。平均而言，Petea 的地層表土較薄，其品位媲美以前在 Sorowako 開採的真正東方型物料。」

礦山地質

Sorowako 和 Petea 地段的紅土鎳礦床一般分為兩大類，西部區塊及東部區塊型，這取決於基岩的性質、蛇紋石化水平、開採容易度、石塊大小、基石壓裂程度、含鎳品位的最佳篩檢部分及礦化物的矽對氧化鎂比率。圖 4-5 顯示了廣義鐵礬土剖面。

下面的說明是摘自 PTI 的報告：



「西部區塊型礦床

這些礦床是在相對末蛇紋石化橄欖岩的基石上發育的，商業可採品位局限於 -1”細粒部分；和矽對氧化鎂比率高（2.2 至 2.6 之間）者。

西部區塊型礦床分為 1 類、第 2 類和第 3 類，取決於基岩壓裂程度和由此產生的石塊大小。由於基岩壓裂程度弱和由此產生石塊大，第 1 類礦床是最困難的礦。第 2 類和第 3 類礦床依次容易開採，並形成了更多的基岩裂隙導致巨石礦化，採礦設備可以處理。

鎳最佳品位在所有西部區塊型礦床只限於為 -1”篩檢部分。特大型一般多孔或非常低品位。例外存在於礫岩礦化物中，硅鎂鎳礦+1”部分帶有理想品位。

東部區塊型和Petea礦床

這些礦床在基石上發育，更蛇紋石化和特點為一般矽對氧化鎂比率低。他們進一步按升級的礦化特徵分為如下三種類型：

18”礦化類型，所有部分高達 18”大小礦化品位。這也被稱為“純東方型礦化。”

6”礦化類型，其中只有不到 6”大小的物料是礦化品位；特大型岩是低品位，需要予以拒絕。

1”礦化類型，其中只有-1”的物料是礦化品位，所有超大型物料均為廢棄物。這一礦化類型又分為兩種類型，取決於橄欖石成分的+1-6”大小：

- 低橄欖石-1”礦化類型，其中橄欖石成分+1-6”岩一般不超過 22%。這一礦化類型可按 1”大小進行篩檢，作為最大鎳品位或按 6”大小進行篩檢，作為最大礦化回收率。在任何情況下，橄欖石成分是為電爐接受的。
- 高橄欖石-1”礦化類型，其中橄欖石成份+1-6”一般超過 22%。這一礦化類型必須按 1”大小進行篩檢，作為，以確保並無過量橄欖石進入電爐。

東部區塊 6”/ 18”礦化類型呈弧形地帶，形成一個從 Sumasang 延伸，北至 Lamangka South 和東南部至 Fiona-Farah。本區東部，直到 Lake Matano 湖岸，這一地段主要是 1”高橄欖石礦化類型。東部區塊-1”低橄欖石礦化類型只組成 6”/ 18”礦化類型和 1”高橄欖石礦化類型內的不規則斑塊。

在 Mahalon aNorth 地段，6”/ 18”礦化類型有許多另外兩個東部區塊礦化類型小葡萄乾樣區。

Petea地段原本列為-18”礦化類型，但檢討鑽孔和探坑數據後，這一分類並不成立。最近的開採結果（篩檢結果）表明，Petea一般是-6”礦化類型。Petea將繼續被視為-6”礦化。Petea該-1”礦化類型被視為在-6”。」

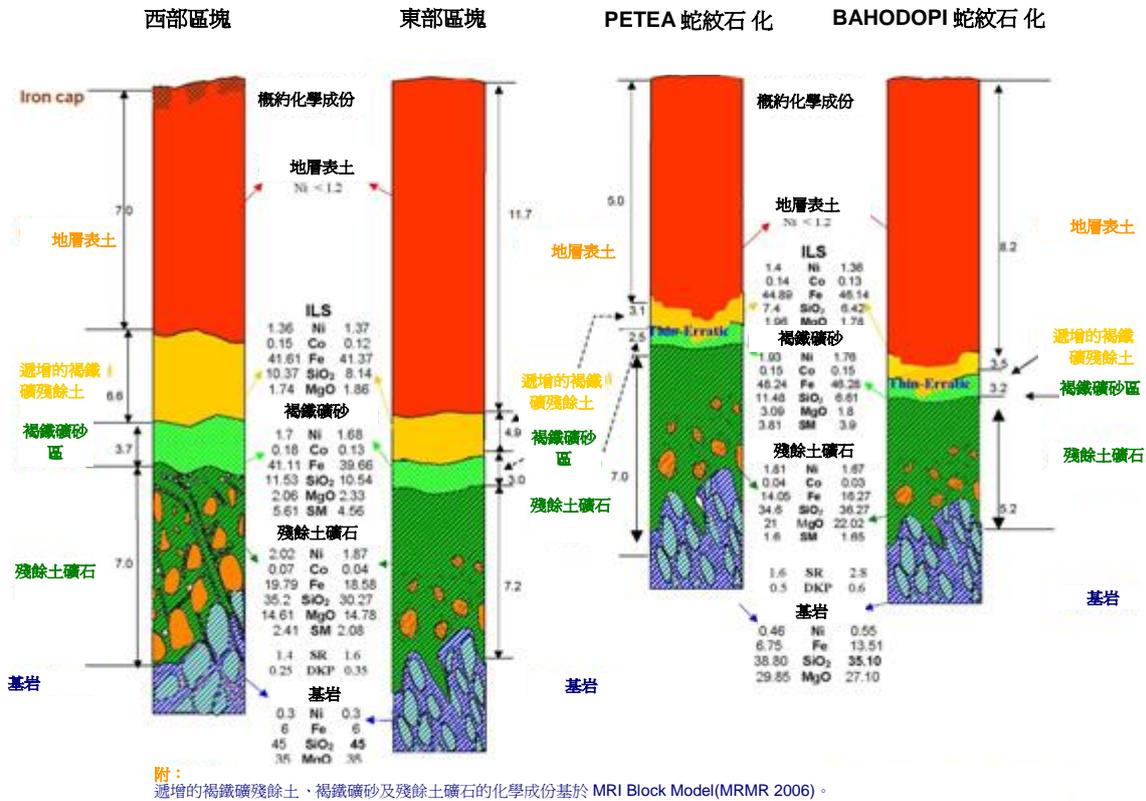


圖 4-5：Sorowako 礦床廣義鐵礬土剖面

4.10 鑽井勘探與開發

SPA 過往已經進行過不同的鑽探，總結在表 4-3。自 2001 年以來，Saraowaho 一直使用岩芯鑽探。在該地段的初步抽樣採用基於 400 米長的網格，逐步填充在 200 米的間距。具有更好經濟潛力的有針對性礦化領域則是在 100 米的間距鑽探。

在 SPA，所有早期勘探塊樣地由經緯儀調查。最近推出的岩芯鑽探立面圖和坐標由電子經緯儀收取。PTI 的現行做法是林木砍伐後立即進行 DGPS 測量。經修訂的測量數據在必要情況下使用重新運行區塊模型，作最後和詳細探礦規劃和實際品位控制。具體井下測量是沒有進行，所有洞被認為是垂直的。這是對這種類型的礦床合理的假設。

表 4-3：Sorowako 項目地段歷史鑽探

時段	東部區塊		西部區塊		Petea		總數	
	數目	百分比	數目	百分比	數目	百分比	數目	百分比
長螺旋鑽孔								
2001-2004 年	17,164	100%	25,185	100%	0	0%	42,349	100%
岩芯鑽探								
2001-2002 年	3,103	35.15%	1,342	12.70%	665	19.95%	5,110	22.48%



時段	東部區塊 數目 百分比		西部區塊 數目 百分比		Petea 數目 百分比		總數 數目 百分比	
	2003 年	1,630	18.47%	2,674	25.31%	1,451	43.52%	5,755
2004 年	725	8.21%	2,601	24.62%	716	21.48%	4,042	17.79%
2005 年	2,248	25.47%	2,293	21.70%	0	0.00%	4,541	19.98%
2006 年	476	5.39%	1,253	11.86%	6	0.18%	1,735	7.63%
2007 年	645	7.31%	131	1.24%	221	6.63%	997	4.39%
2008 年	0	0.00%	234	2.21%	201	6.03%	422	1.91%
2009 年	0	0.00%	38	0.36%	74	2.22%	129	0.49%
岩芯鑽探合計	8,827	100%	10,566	100%	3,334	100%	22,727	100%

2008 年 1 月至 11 月中旬期間，Petea 和西部區塊勘探和礦山開發進行了鑽探。為勘探 Petea E 和 F 區塊，2,970 米共鑽 159 孔。為 Petea B 北區塊礦山開發，948 米鑽 42 孔。在西部區塊，277 米鑽 132 孔，作確認 Anoa Valley 和 Pakalangkai 的目的。礦山開發鑽探已在 Songko 和 Nickel Hill (4,934 鑽 175 孔) 進行 (855 米鑽 27 孔)。截至 2008 年底，勘探計劃被重新鑽探，作確認 Petea B 區塊目的。

鑽井程序是行業標準和 Golder 認為它們適合紅土鎳礦床。

4.11 礦床抽樣方法和數據庫管理

用於資源量建模的數據

早在 SPA 歷史上，測試點蝕和螺旋鑽被普遍用於勘探和礦產資源量的定義。後來認識到，抽樣方法的質量和滲透並沒有充分的估計礦產資源量。自 2007 年以來，所有礦產資源已僅按照岩芯鑽探數據勘探和估計。

鑽探抽樣

應用在目前的資源量及儲量模式的所有數據是來自岩芯鑽探。作為本次審計一部分，現場考察時發現金剛石鑽機活躍使用 (圖 4-6)。

地質學家和地質鑽探技術人員負責監督和記錄從鑽孔中出現的岩芯。三重管鑽 HQ 的岩芯鑽探利用盡可能少添加水，以盡量減少岩芯損失。岩芯內胎被水壓推出的鑽孔，岩芯是從分裂內胎進入塑料岩芯盤，岩心回收率測量和記錄在紙上。

由於每個岩芯盤被填滿，地質技術人員測量並記錄為岩芯回收率和簡單的岩石類型代碼 (L 為褐鐵礦時，S = 殘餘土，T = 過渡和 B = 基岩)。司鑽簽署記錄表。更詳細的記錄表是由地質學家使用 TrimblePDA 完成。該記錄表包含更詳細的說明岩石類型，主要和次要礦物，粒度，風化等程度。蛇紋石化程度估計基於結合目視檢查、磁化率 (蛇紋石化物料更具磁性)，和實驗室 LOI 數據。這些信息用於映射高橄欖石 (HO) 的材料，所以它可以被控制在開採過程中的混合。

每次鑽探運行 1 米，但使用 1.5 米岩芯筒，因為岩芯回收率一般超過 100%，特別是在褐鐵礦區。這種現象被稱為「擠壓」，它是在實地考察期間在孔 C19-0 - 914 發現。連續褐鐵礦岩心有 1.46 米，從層段 3-4 米岩芯回收。岩芯不受干擾。由於沒有褐鐵礦腫脹或隆起暴露在露天礦坑的證據，額外的岩芯回收率最可能的解釋為非常柔軟的材料 (如褐鐵礦) 具有一致性的粘貼，部分岩芯切位和部分流入內芯管。當軟地層鑽探速度比鑽頭切削行動快，則會發生這種情況。因此，在 HQ 孔大小 (其中外孔直徑為 96 毫米，岩芯直徑為 63.5 毫米)，高達 150% 的岩芯回收率是可以預期的，如果沒有材料由位面被切割，而是在鑽探過程中被推入岩芯筒。

PTI 於 2009 年 MRMR 報告中概述了岩芯回收率數據。這些摘要顯示，超過一半的褐鐵礦樣品的岩芯回收率大於 100%。在殘餘土中，擠出較為少見，但仍影響到大約 10-20% 的樣本。PTI 假設量得的岩芯回收率大於 100% 為岩芯回收率 100% 的指標，通過減少岩芯回收率大於 100% 至 100% 「糾正」數據。鑽探程序現在包括目的鑽探最低 5 米到基岩，然而這普遍沒有實現，因為真正的未礦化基岩通常難以識別。



圖 4-6：在 Golder 實地考察中發現的金剛石鑽探

等級控制

沒有短期或品位控制塑模。因此，所有礦物開採由地質學家或有經驗的技術員密切監督。採礦方法的預期頂部礦化，品位控制抽樣在階地進行。樣品收集自約 5 米的網格周圍多邊形採樣點。採樣節點用木樁標記，並確定了用標籤寫入到塑料磁帶。樣品是通過 2”篩檢，混合在一個橡膠墊，呈斜向移動以收集約 2 公斤-2”材料。在 Petea，篩檢中亦收集到大量+2”礦化物、+2”和-6”樣本。

品位控制員還從以挖斗機載入的大約每 500 噸的材料中收集抓取樣品。這是採取隨機橫跨頂部鏟桶。

樣品裝入貼有預先編號標籤的袋子，並在 Mine Rush Assay Laboratory (MRAL) 進行分析。該周轉時間通常為 1 - 2 小時，結果以無線電或手機方式傳送到品位控制員。其結果都是供品位控制員非正式使用，以指示挖斗機操作者。簡單的採樣記錄表（日期、階地、GPS 坐標、估計鎳品位和報告鎳品位）是由品位控制員存置。

原礦進一步取樣在篩檢站進行。篩檢站 (SSP) 每 500 噸產品中，機械鏟採樣器（不明確是否在停止帶模式進行）收集樣本共約 70 公斤。這種材料是混合在一個橡膠墊，呈斜向移動以產生 2 公斤 MRAL，其餘的放在鋼桶內，送到 Harapan 礦石檢測站。礦石檢測站是用來進行更好的控制篩檢、烘乾和取樣的過程，提供更好的由篩檢站交付至濕礦堆積場(WOS)物料質量的估算。

樣品製備

現場採用的採樣和樣品製備方法於 Kroll et al (2009b)詳述，並實地向 Golder 演示。



岩芯採樣

岩芯採樣在 Enganno 和 Petea 室內製備。Golder 已視察 Enganno 設施，該設施每週可處理 6000 件樣品（圖 4-7）。

所有的岩芯箱與實地記錄表核對和在運達製備區時拍照。岩芯採樣層段超過 1 米或以下（如果岩型變化（例如，如果有一個岩芯石））。其岩芯以粒度級份額（-1”，-2”，-6”）採樣。概無保留作審計或參考的岩芯。粗料是通過兩層篩檢（2”和 1”網），製作了三個粒度級份額。每個份額混合在一個橡膠墊，然後通過呈斜向移動，再劃分成約 2 公斤。粒度級份額被放置在獨立的樣品袋中。褐鐵礦和其他明顯細晶材料未經篩檢，而是直接作斜向移動。透過附條碼的製備程序，所有樣品被標記和跟踪。



圖 4-7：岩芯樣品製備

2 公斤樣本然後傳遞給第二個房間乾燥和粉碎。樣本稱重然後在常規電烤箱以 105 °C 乾燥 8 小時。乾燥後再次稱重，以確定水份含量。PTI 進行了乾燥效率測試。

樣品在博伊德破碎機內粉碎至 10 #（1.6 毫米）。粉碎後的樣品混合並通過傳遞一個淺灘分路三次，然後使用相同的淺灘，以減少樣品質量約 200 - 250 克。左側分離器托盤始終是拒絕的。



，然後將樣品放在連續環磨機（CR 磨機）粉碎 3-4 分鐘，以減少顆粒大小至 200 #（74 微米）。自 2007 年底，多孔花崗岩樣品清洗已用於 CR 磨機各樣本之間。

粉狀樣本儲存在紙牛皮袋。其中一個 20 克子樣本被提交給 Proctech 進行分析。該子樣本透過將 200 克礦漿在新鮮紙張上滾動幾次獲得，然後用小刀呈人字形收集。

樣品製備所有步驟是通過條碼和數據（如樣本數、重量等）跟踪，都被記錄在新的 dataXPLORE 數據庫。對各種質量控制樣品進行了測試。每週進行質控數據處理。QAQC 樣品的分析討論如下。

品位控制樣品

品位控制樣品包括從礦山階地和鐵鍬水桶隨意取樣、篩檢站帶樣品等。樣品在很短的時間收集和處理，以提供礦區周圍物料變動的資料，以決策在哪裡取得直接材料。樣品在 MRAL 處理。Harapan 和 Petea 礦區辦事處設有 MRAL。Golder 已視察在 Harapan 的 MRAL。

MiniPal 結果定期與同一礦漿在 ProcTech 實驗室的化驗分析核對。這種比較的結果表明，MRAL 分析對於正在使用的等級控制任務而言是足夠的。

MRAL 周轉時間令人印象深刻，這似乎正是品位控制成功的重要因素。PTI 表示，MRAL 的主要目標是迅速為開採送樣。PTI 的看法是，樣品分析相對精密度是可以接受的，以支持日常開採業務，MRAL 和 Protech 結果的差異會定期控制。

含量測定

芯樣

有適當的文件來定義採樣和分析測試中常規運用的協議。定期對樣品製備和分析測試進行外部審核。

電子數據從實驗室信息管理系統傳輸至 dataXPLORE 數據庫，由樣品製備領域的質量控制地質學家審查。

熔珠 XRF 數據是當前用於礦產資源估計的主要數據。以前採用壓制粉狀 XRF 分析的樣品於 2006 年至 2008 年由熔珠 XRF 進行了重新測定。

質量控制（QC）的結果

質量保證（QA）系統，是一套程序，用於確保採樣和檢測結果具有很高的質量。質量控制（QC）是用數據來證明樣品製備結果和化學分析符合目的。

Golder 取得了 Sorowako 項目地段（SPA）的 2009 年 7 月至 2010 年 6 月質量保證程序和質量控制數據。在下面的章節中，將討論質量保證程序和質量控制數據分析結果。

程序

有適當的文件來定義採樣和分析測試中常規運用的協議。獨立的外部審計是定期開展了對樣品製備和分析測試（如 Djafar 和 Kadarusman，2009 年；AMEC，2009 年）。

- SPA 的 QAQC 程序包括插入各種質量控制樣品。定期進行關於 QAQC 樣品分析的檢討和每週處理質控數據。

標準樣品

化驗的準確性通常是由獨立的實驗室利用標準（也稱為認證的參考材料或 CRM，但在 Sorowako，縮寫 CRM 是指連續環磨機）進行監測檢查。這些通常是已知礦漿材料樣品（通常認證）品位，是監測實驗室的準確性（實驗室取得正確的或已知結果的能力）。從 SPA 鑽取樣本殘留定出與礦樣品具有相同精細材料的標準。

2008 年至 2010 年，PTI 已提交五項標準樣品，列於表 4-4。Golder 對自上次外部審計（AMEC，2009 年）以來所提交樣本主要元素（即鎳、鐵、二氧化矽和氧化鎂）值進行查對。

表 4-4 詳細介紹了 PTI 提供的可接受的均值和標準差。



表 4-4：提交的標準樣品和所接受的價值

標識	樣本數目	元素	鎳	鐵	二氧化矽	氧化鎂
OB	784	平均值(%)	0.619	46.200	6.720	4.800
		標準差	0.010	0.470	0.060	0.070
MGL	775	平均值(%)	1.305	43.970	10.980	2.510
		標準差	0.024	0.420	0.200	0.060
SNORE	939	平均值(%)	0.960	13.930	51.870	17.500
		標準差	0.008	0.060	0.520	0.210
SORE	1133	平均值(%)	2.810	13.880	40.850	23.250
		標準差	0.030	0.140	0.320	0.220
BRK	624	平均值(%)	0.477	7.640	41.390	41.490
		標準差	0.013	0.100	0.370	0.340

Goldier 對標準樣品數據的分析結果概列於表 4-5 和在下面的段落中詳述。

表 4-5：標準樣品分析結果

	樣品編號	外露層% (平均 $\pm 3\sigma$)	HRD%	HARD%	樣品號	回應
鎳	OB	6.76%	0.12%	1.13%	784	出色的精密度和準確度
	MGL	1.94%	-0.38%	0.86%	775	出色的精密度和準確度
	SNORE	26.94%	-0.71%	0.96%	939	出色的精密度和準確度
	SORE	5.30%	-0.45%	0.71%	1133	出色的精密度和準確度
	BRK	2.56%	0.55%	1.05%	624	出色的精密度和準確度
鐵	OB	2.93%	0.29%	0.61%	784	出色的精密度和準確度
	MGL	4.26%	-0.27%	0.63%	775	出色的精密度和準確度
	SNORE	35.57%	-0.33%	0.64%	939	出色的精密度和準確度
	SORE	1.77%	0.001%	0.54%	1133	出色的精密度和準確度
	BRK	1.60%	-0.07%	0.84%	624	出色的精密度和準確度
二氧化矽	OB	29.85%	-0.83%	1.15%	784	出色的精密度和準確度
	MGL	1.16%	-0.24%	0.86%	775	出色的精密度和準確度
	SNORE	2.34%	-0.02%	0.49%	939	出色的精密度和準確度
	SORE	5.21%	~0.29%	0.48%	1133	出色的精密度和準確度
	BRK	6.25%	-0.55%	0.62%	624	出色的精密度和準確度
氧化鎂	OB	2.55%	-0.01%	0.87%	784	出色的精密度和準確度
	MGL	4.90%	-0.75%	1.63%	775	出色的精密度和準確度
	SNORE	1.60%	-0.24%	0.47%	939	出色的精密度和準確度



SORE	2.47%	-0.39%	0.49%	1133	出色的精密度和準確度
BRK	3.53%	-0.73%	0.74%	624	出色的精密度和準確度

註：分析標準樣品顯示出良好的準確度（HRD-0.83 至 0.55%）和精密度（HARD 0.47 至 1.63%）。

未加工

未加工或多孔的樣品是具有非常低預期鎳品位的物料。提交這些樣品是為確保在樣品製備或化驗過程中樣品之間沒有交叉污染。如果未加工樣品跟隨高品位樣品出現品位升高則顯示有問題。該檢測限（LOD 值）定義為測定下限位置精密度方法的± 100%。

以往外部審計（AMEC，2009 年）關注樣品出現交叉污染。比較 2008 年及 2010 年的數據顯示顯著改善。雖然仍有 2.46% 的樣品有鎳值高於上限 0.047% 鎳（圖 4-8），這些未加工樣品鎳的濃度與 2008 年相比要低（2008 年最高鎳= 0.39%，2010 年最高鎳= 0.11%）。所有樣本就鐵、二氧化矽和氧化鎂顯示令人滿意的結果（圖 4-9）。

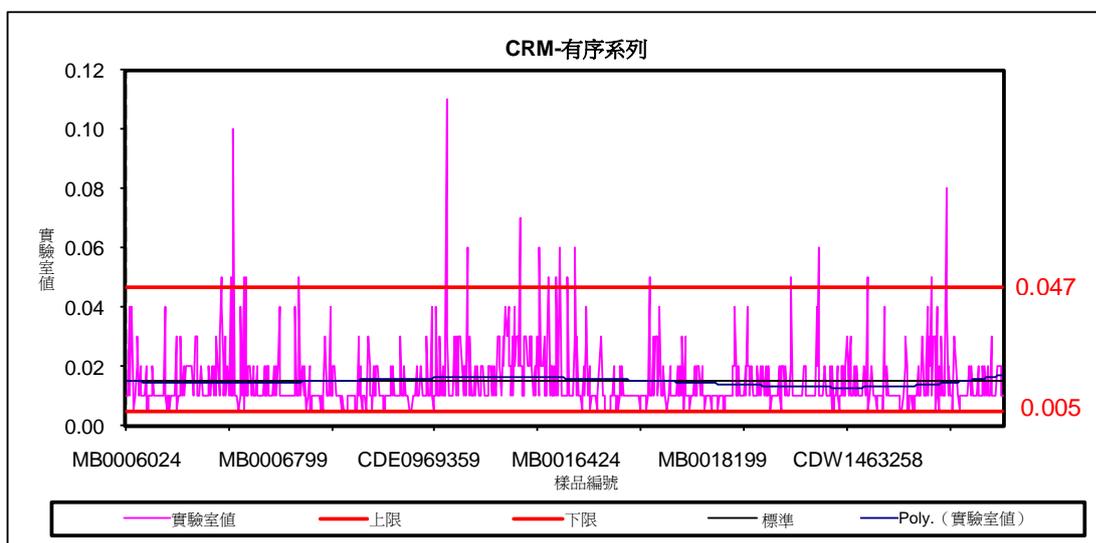


圖 4-8：未加工樣品的鎳有序系列

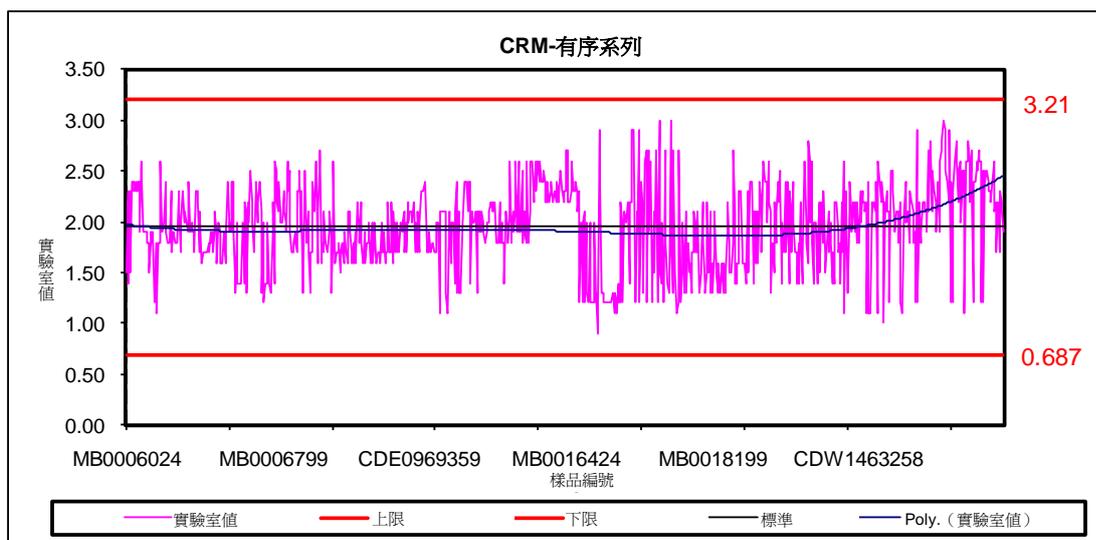


圖 4-9：未加工樣品的鐵有序系列



重複

雙樣品以同樣的方式製備和檢測提供了測量誤差的隨機抽樣。總誤差是由於分裂最初複製、準備樣品和分析測試樣品產生誤差的總和。

實驗室之間的重複是礦漿在第二個實驗室重新檢測。這可能有助於確定實驗室之間的精密度，也可以找出兩個實驗室之間的偏差。

Golder 對自上次外部審計（AMEC，2009 年）以來於 2009 年至 2010 年所提交樣本主要元素（即鎳、鐵、二氧化矽和氧化鎂）值進行查對。僅 2009 年獲提供礦漿重新分析數據，因此，使用此數據進行了檢查。其結果是重複的分析，總結在表 4-6。

在一般情況下，所有重複樣本顯出了極好的精密度，沒有明顯的偏見。所有重複樣本中有超過 90% 的樣品 HARD 低於 10%。正如所料，DPP 較其他重複樣本表現出更好的精密度。然而，外露層出現樣品互換發生在大多數樣品製備階段，包括礦漿重新檢測重複。

跨實驗室檢查表明，PTI 實驗室和 Intertek 實驗室沒有明顯的偏差。然而，外露層出現樣品互換亦出現在跨實驗室檢查結果中。

PTI 表示，會進行定期審計工作，以避免樣品互換。

表 4-6：SPA 實地重複和實驗室重複樣本分析結果

樣品編號	HRD%	HARD%	樣品號	回應
DPL				
鎳	-0.01%	0.89%	2546	出色的精密度和準確度
鐵	-0.06%	0.57%	2546	出色的精密度和準確度
二氧化矽	-0.03%	0.79%	2546	出色的精密度和準確度
氧化鎂	-0.07%	1.13%	2546	出色的精密度和準確度
DPS				
鎳	0.01%	0.76%	3199	出色的精密度和準確度
鐵	-0.01%	0.49%	3199	出色的精密度和準確度
二氧化矽	0.01%	0.55%	3199	出色的精密度和準確度
氧化鎂	0.01%	0.76%	3199	出色的精密度和準確度
DPP				
鎳	0.01%	0.81%	3195	出色的精密度和準確度
鐵	-0.03%	0.51%	3195	優秀的精密度和準確度
二氧化矽	0.01%	0.55%	3195	出色的精密度和準確度
氧化鎂	0.06%	0.75%	3195	出色的精密度和準確度
礦漿重新檢測				
鎳	0.04%	0.92%	2095	出色的精密度和準確度
鐵	0.09%	0.51%	2095	出色的精密度和準確度
二氧化矽	-0.04%	0.52%	2095	出色的精密度和準確度



樣品編號	HRD%	HARD%	樣品號	回應
氧化鎂	-0.09%	0.72%	2095	出色的精密度和準確度
交叉實驗室檢查				
鎳	0.08%	1.14%	3410	出色的精密度和準確度
鐵	-0.38%	1.11%	3410	出色的精密度和準確度
二氧化矽	-0.62%	1.15%	3410	出色的精密度和準確度
氧化鎂	-1.70%	2.49%	3410	出色的精密度和準確度

濕噸位因素

密度數據通過使用 HQ 鑽芯 並估計岩芯量確定，因為這是橫截面積乘以長度。岩芯樣品的濕重和幹重然後用來分別確定 在原地 容重一般稱為濕噸位因素或 WTF（包括水份）和幹容重（在某些文件中簡稱幹噸位因素或 DTF）。

這種方法內在的假設是：

- 鑽探時和稱重時岩芯沒有得到或失去水份。
- 岩芯直徑是不變的。
- 岩芯出現擠壓（回收率大於 100%）是岩芯擴張產生的，而不是由外面的內芯管納入橫向材料。也就是說，大量回收的材料來自於切割 62 毫米直徑的圓柱體。這可能是不正確的。

PTI 認識到，WTF 在鐵礬土剖面變化，且因不同礦床而異。然而，岩芯 WTF 數據並不用於礦物資源量或礦產儲量 估計。相反，採用的是每個採區（西部區塊、東部區塊、Petee）基於歷史生產數據的平均數字。

數據編碼

鑽孔資料最初在數據庫按實地記錄獲分配一個岩石類型編碼，並因樣品分析結果而作出調整。樣品被列為地層表土（OB），褐鐵礦（LIM），殘餘土（SAP）的或基岩（BRK）。

樣品被指定為西部區塊型或東部區塊型（大部分為東部區塊礦床和 Petee）。在西部區塊，礦化類型根據記錄的裂縫密度和 RQD 進一步細分為第 1 類（含大塊 BRK 岩芯石的礦石），第 2 類（含中等 BRK 岩芯石的礦石），第 3 類（含易碎小塊 BRK 岩芯石的礦石）。

數據庫 系統

PTI 的數據管理在轉型期。新的 SQL 伺服器關係數據庫（名為 dataXPLore）已開發和正在實施中。該數據庫由樣品製備設施訪問，並鏈接到 ProcTech 實驗室的 LIMS 系統。它在 2010 年年底完全投入運作時將存儲所有地質記錄、樣品製備和分析測試信息。

數據驗證和推導附加變量似乎是令人滿意的。

嚴重依賴品位控制採樣和礦化廢料視覺識別似乎在實踐中的合理程度上運行良好，

樣品製備間設置良好、寬敞、合理乾淨，設備處於良好狀態。高級工作人員 對程序以及它們為什麼是重要的具有良好的 理解。使用條碼是很好的做法，可能減少錯誤。使用定期檢查測試樣品的質量監測粉碎是極佳的做法。

分析實驗室設置良好、寬敞、合理乾淨，設備處於良好狀態。員工對程序以及它們為什麼是重要的具有良好的 理解。使用 乾燥器 櫃是很好的做法。使用條碼是很好的做法。



用於岩芯製備和分析測試的質量控制程序是全面的，提供有關整個樣品製備程序精密度的資料，對資源量估計而言已屬足夠。

標準樣品顯出了極好的準確度和精密度。一些小的偏差進行了鑑定，但這些預料都不會對質量和支持礦產資源量數據的代表性有重大影響。

SPA 取樣製備及分析測試的精確度誤差接受，並沒有發現明顯的偏差。

實地重複採樣和樣品製備及礦漿重複分析測試的精密度由 PTI 記錄。已採取措施由實驗室定期監測結果，對需要質量數據作為資源量估計的基礎的認知度高。

4.12 礦產資源估計

地質建模

所有地質建模是使用 Datamine Studio 軟件進行。Anoa South 資源塊模型創建於 2009 年 11 月，已由 Golder 運同 PTI 地質學家進行了審查。地質建模過程可以概括如下：

- 使用 HOLES3D 過程將岩芯鑽孔數據從主數據庫中導出並載入 Datamine。這包括了基本的驗證檢查，如差距和重疊。
- 數據未經檢驗。所有孔被認為是垂直的。這對這種類型的礦床是一個合理的假設。
- 以 3D 檢查鑽孔編碼和必要時予以調整。
- LIDAR 地形 DTM 是用於模擬表面形貌。
- 三角面按宏指令從標記樣本建立。LIDAR 地形 DTM 的點在 LIM 的頂部和底部及 SAP 底部標出。所有四個表面具有相同的點數。這減少了線框之間交叉的可能性。
- 創建基岩面底部用來限制區塊模型的大小。
- 線框以 12.5 米乘 12.5 米乘 1 米區塊填滿。子區塊未使用。
- 凡 LIM 頂面穿越地形表面，宏指令是用來截斷頂部的 LIM 表面地形點。實際上，這是假設褐鐵礦區在一些較陡峭山谷已消蝕。這是一個資源建模合理的假設，但在現實中可能有一些褐鐵礦的形成甚至在陡峭的山谷斜坡。
- 礦化類型的分佈在平面視圖中利用地理信息系統軟件解釋（2D）。多邊形的定義限制每個礦化類型導入到 Datamine 工作室，用於標識的資源區塊模型。請注意，礦化類型不分開作品位估計處理。
- 全球平均 WTF 和 DKP 的因素被分配到模型中。在這種情況下，由於 Anoa South 是西部區塊型礦床，WTF 被指定為 1.90 和 DKP / ROM 的因子設置為 0.25，0.25 和 0.27 分別作為西 1 型，西 2 型和西 3 型。

Golder 審查了 Anoa South、Petea B 和 Songko 的地質建模。這些礦床大部分是根據 50 米垂直鑽洞格局按固定的 50 米鑽出來。在一些地段，殘餘土厚度有很大變化，Anoa South 的例子如圖 4-10 所示。殘餘土岩的厚度變化可以從相鄰孔小於 1 米到 25 米以上。這是因為基岩面頂部有時存在不規則性和殘餘土區存在基岩石塊。

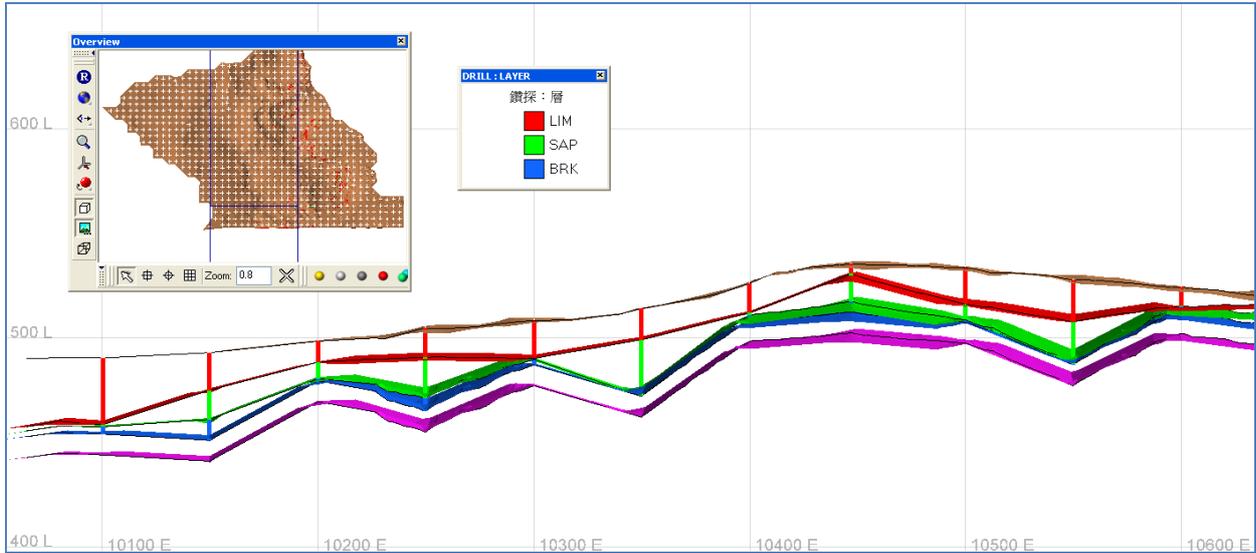


圖 4-10：Anoa South 橫截面 7,375 N 顯示殘餘土厚度有很大變化

Sorowako 項目建模地段

PTI Sorowako 項目地段包括三個主要區域：西部區塊、東部區塊和 Petea。該礦運行 Sorowako 項目中數個小型露天礦或跨越幾個活躍的礦區的「礦山」。從一系列礦山開採提供了機會混入原礦（ROM），以滿足鍊加工廠的礦料質量標準。整體運作包括代表個別山丘的眾多不同的區塊模式。

對於本次礦產儲量審計目的，Golder 選擇了三個地段（摘要在表 4-7），驗證資源量估算程序和結果（包括所提供的區塊模式獨立驗證）。

表 4-7：為審計資源量模型選定區塊模式地段

域名	山
東部區塊	Nayoko
	Songko
西部區塊	Anoa South
	Nickel Hill
Petea 區塊	Petea B North

原始數據準備、編碼和合成

勘探數據庫包含 1 米層段分析信息的樣本。所有原鑽洞層段相對於其在鐵礬土剖面的位置預編碼。這種編碼是用來定義以下形成進行數據分析和估計的領域的表面：

- 褐鐵礦頂部
- 褐鐵礦底（殘餘土頂部）
- 殘餘土底部（基岩頂部）
- 基岩底部

下列品位通過資源建模過程估計：鎳、鈷、鐵、二氧化矽、氧化鎂、鉻、鋁、錳、鈣、和 H₂O。複合數據反映了兩個粒度級份額：為-1”網格和-6”網格。這兩個變量是模仿了品位評估的目的。



複合鑽孔數據長度 1 米井下，合成每個地質層（在每個邊界分裂複合材料）。

每一層剩餘 (<1 米) 複合材料的處理在不同塑模地區之間各不相同。對於某些模型，剩餘價值被保留。對於 Anoa South，如果這些短樣品進行了不到 40% 的平均樣本長度” (<0.4 米)，會被拒絕。

為估計品位的目的，鑽探複合材料當作數據點（即它們的長度是不使用的），並保留如此短的樣本將推出偏見，除非長度加權技術被用在品位估計過程。

樣本加權用於殘餘土層。每個粒度級份額元素乘以一個變量 LDW #（按粒度級份額幹重除以樣品長度界定）。其效果是確保在特定粒度級份額變量在統計上或在品位估計過程中被估定的情況下計入粒度級份額重量。就褐鐵礦而言，使用原來的測定值，而不予稱重，因為幾乎全部樣本均小於 1” 粒子的大小。

使用提供的 1 米複合文件，Golder 使用累積概率圖南審查 Anoa South 複合長度的分佈，每一個地質層分佈顯示為重疊，如圖 4-11。剩餘材料的比例普遍偏低，約 0.5% 的褐鐵礦全球分佈和 3% 左右的殘餘土。基岩域顯示約 10% 的剩餘材料，雖然這一領域不具經濟重要性。

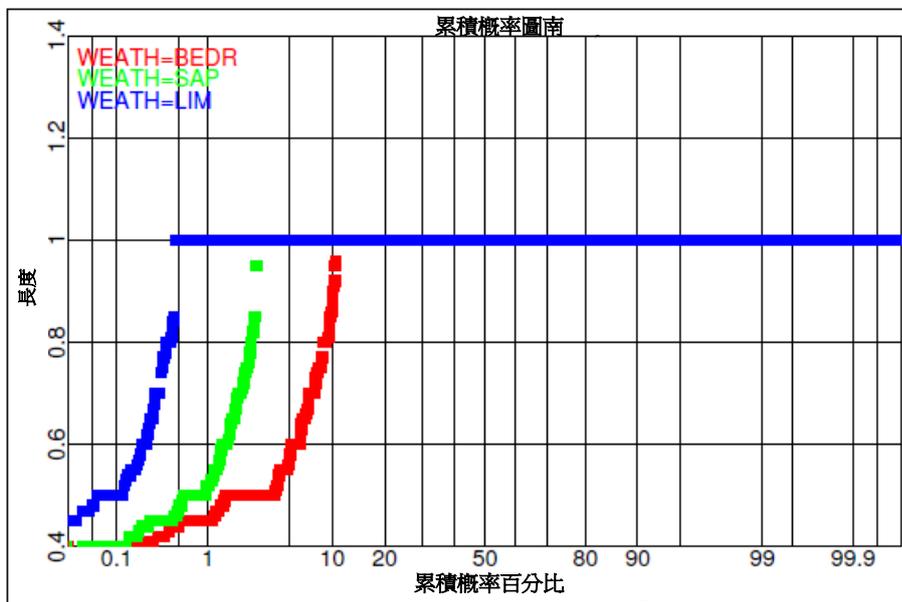


圖 4-11: Anoa South - 長度為 1 米複合材料的分佈，顯示剩餘 (<1 米) 樣本比例

域名

地質模型被用作為估計目的創建域名而輸入。各種分析元素內插法分別做：

- 褐鐵礦（一般 > 35% 鐵和 < 5% 氧化鎂）
- 殘餘土（一般 < 35% 的鐵和 > 5% 的氧化鎂）
- 基岩

沒有具體的區域或域名被用於資源量區塊模型的建造(風化殼垂直分層除外)。

探索性數據分析

PTI 的報告中提到了使用常規統計數據驗證輸入數據。探索性數據分析 (EDA) 是在 2007 年後的礦產資源量技術文件中提出。一般的 EDA 處理方法與模型地段相當一致。

每一個地質層分開處理。這一分析提供了有關分佈特點和異常值功能檢測或虛假的數據集可能會影響品位估計的總體摘要。



高品位切割

切割高品位樣品在估計過程往往是用來控制和影響的異常值外推。PTI 利用所有元素直方圖和大部分元素對散點圖，進行了有關鐵礬土剖面誤判樣本檢查。對任何明顯的異常值進行識別，然後進行審查。採取明顯的異常值代表褐鐵礦內殘餘土或殘餘土石頭內的接縫材料。概無由於不正確分析而檢驗發現異常值，均認為是有效的，因此，高品位切割沒有得到執行。

變量法

審查方法

PTI 完成對西部區塊、東部區塊和 Petea 區塊的礦床變量法研究，作為各礦產資源量建模過程的一部分。對該褐鐵礦和殘餘土領域進行了評估。變量法是根據 1 米的複合材料，並進行了鎳、鈷、鐵、氧化鎂和二氧化矽、鉻、鋁、錳、鈣、H₂O 和 LDW，同時為“-1”和“-6”分數的變異函數在“-6”組分參數用於由 Ordinary Kriging 計算品位估計。

變異法程序按 PTI 報告進行了審查，並經 Golder 檢查變異法作為支持（見下文）。變異法文件層面就這一方法提供了一些基本資料，但不提供詳細的分析說明。

甲綜述 variography 步驟如下：

- 相對變差函數在展開的坐標系統使用 Datamine 軟件計算。正在展開的方法是基於垂直投影到一個水平面上。就褐鐵礦而言，數據是開展在褐鐵礦線框表面。因此，鑽孔底部攔截所有有類似的「海拔」展開的空間，但鑽孔頂部按攔截長度攔截有不同海拔。這種方法假定在褐鐵礦厚度的變化主要是由於侵蝕。雖然這並非完全如此，大部分的褐鐵礦重大經濟利益發生在褐鐵礦區底部，這就是正在發展的方式最有效的地方。殘餘土域開展於褐鐵礦基地和殘餘土地。方法是使用比例，這樣的數據點被分配相平行的坐標上，下展開的表面。這種方法假定每個鑽孔攔截代表一個完整的殘餘土剖面，但是不同的厚度。
- 相對變差函數使用金塊和採用組合球、指數和高斯結構的三個嵌套結構為模型。熔核變差是仿照從井下變差函數計算在垂直方向使用 2 米滯後。第三變差結構是用來解決任何垂直和水平方向之間的帶狀各向異性，顯示為一個整體的垂直和水平之間實驗變異函數的門檻差異值。
- 沒有分離的礦化類型是為變異法作出，一個給定示範區的所有樣品假設代表一個特定的為礦化類型。
- 殘餘土變異函數代表對於一個給定大小的一小部分積累的 LDW # * 品位 #，如 LDW6 * NI6。變異函數也製作了 LDW #。
- 在開展定向變異函數「水平」的平面進行了計算。這些並沒有顯示出任何明顯的各向異性，因此，產生了各向同性變異函數在水平展開的空間。結構良好的井下變異函數中獲得了短軸方向。

區塊模型參數

該模型用於約束的礦產資源量估算，是一種在 Datamine Studio 2 的軟件建造基於正交定期區塊模型，基於一個區塊大小為 12.5 米 (X) 乘 12.5 米 (Y) 乘 1 米 (Z)。該塊模型細胞約佔四分之一的用於測量資源量的 X 和 Y 方向鑽孔間距 (50 米乘 50 米)。

PTI 表示，SPA 大部分使用區塊模式大小為 12.5 米 (X) 乘 12.5 米 (Y) 乘 1 米 (z)，默認適應當前的礦山經營的做法。在其他領域，如 SOA 和 SCD 的區塊大小是對應於現有的鑽孔間距。

垂直區塊大小為 1 米，兼容使用 1 米複合材料。除礦化顯示垂直方向的明顯短距離變化，報告中關於使用 1 米大小的垂直區塊沒有具體的推理。

該模型提供品位變量“-1”和“-6”大小分數。估計性能參數（如樣本數和估計數通過數）存儲在模型中。



品位估計

來自 1 米複合材料的鎳、鈷、鐵、氧化鎂和二氧化矽品位估計 Datamine Studio 2 軟件中採用 Ordinary Kriging 進行。估計是限制在各種地質層。每個區域估計在區域內部單獨使用的標記 1 米複合材料。估計是用硬邊界條件下實施的每個區域的估計。Golder 曾評論說，使用硬邊界作估計目的是適當的。

殘餘土品位估計涉及估計給定大小的一小部分積累的 LDW # * 品位 #，如 LDW6 * NI6，然後除以所估計的積累 LDW # 估計，達到給定大小的一小部分最後的區塊品位。這種方法不用於褐鐵礦或基岩，直接僱用人數估計與無加權分數品位。

搜索距離和各向異性由變異法確定。沒有定量的鄰里測試已經進行和廣義搜索 80 乘 80 乘 5 米被選定為第一個估計通過（最初的 4 米 Z 搜索被用於 Songko 和 Petea BNorth）。對於 50 米見方鑽網格，80 米搜索足夠大，可以選擇最近的 8 塊鑽孔周圍重心。

進行的估計在三關。搜索距離為每個通過逐步增加使用累進乘法因子 2 為第二階段和 1.5 第三關，使更多的塊估計到塊模型。其他方面的考慮是使用數量和類型樣品的搜索通過。通過實施每一層和每個示範圍是相同的，系統的，其搜索中使用的八分儀，除了正常的尋找第三關。使用無異常或高品位切割處理。表 4-8 提供了一個簡要的搜索參數。

對於 AnoaSouth 模型，PTI 在其報告中表明，50%的區塊估計在第一關，16%在第二關和 34%在第三關。第一關估計的貢獻較低，為 50%。待填補第一和第二關最低數量八分儀設置為 5。這是一個非常嚴格的估計條件，導致幾個領域模型未履行這一標準，尤其是在地質層邊緣和上下垂直極限。



表 4-8：品位評估所用廣義搜索參數

參數	第一關	第二關	第三關
X 軸半徑	80 米	160 米	240 米
Y 軸半徑	80 米	160 米	240 米
Z 軸半徑	5 *米	10 米	15 米
搜索量旋轉角度	0°	0°	0°
八分儀搜索	是	是	否
繞 X 旋轉角	0°	0°	0°
最低的八分儀 #	5	5	1
最低分儀樣品 #	1	1	1
最大分儀樣品 #	4	4	4
區塊離散化 (第 X/Y/Z 軸)	3	3	1
第一個搜索			
最小樣本總數	20		
最大的樣本總數	32		
第二個搜索			
乘以第二個搜索的搜索係數		2	
最低第二個搜索樣本 #		20	
最大第二個搜索樣本 #		32	
第三個搜索			
乘以第三個搜索的搜索係數			1.5
最低第三個搜索樣本 #			1
最大第三個搜索樣本 #			32

* Songko 和 Petea BNorth 第一至三關的 Z 搜索為 4 米，8 米和 20 米

體積差異校正

PTI 使用了支持過程全球變化的來糾正鎳品位估計的全球分佈，以更好地匹配所需區塊支持預計的理論差異。Golder 對校正因素和支持過程變化進行了獨立檢查，並得出結論該過程已被正確地應用。雖然處理後噸位曲線中間範圍鎳%下限有點不對齊，它被認為是合理的。用來調整區塊模型的理論因素是樂觀的，並可能導致鎳品位和 1.5% 鎳品位下限少報噸位的結果稍微樂觀。

區塊模型驗證

PTI 的報告有一些關於適用於每個區塊模型的區塊模型驗證的討論。PTI 進行驗證程序的摘要包括：

- 估計區塊品位與鑽孔資料的視覺比較。
- 估計區塊模型全球平均品位與一個近鄰估計全球平均品位估計以及世界平均水平的分簇鑽孔資料的統計比較。近鄰模型為確定 用來驗證 kriged 估計分簇方法而建立。
- 東向、北向和 RL 方向的大片驗證，以評估本地品級一致性。
- 平滑效果和方差修正。
- 對最後的區塊模型進行區塊模型同行評審過程。



所述模型驗證程序是全面的和驗證結果顯示在各 PTI 塑型報告。這個信息是非常有用，可說明模型就平均品位一致性和採礦選擇性的適當平滑程度而言是否恰當遵照鑽孔數據計算。

資源量分類

礦產資源量分類由 PTI 根據一個範圍的標準進行，歸納如下：

- 鑽孔密度數據的地層表土。
- 地質和品位的連續性。
- 品位估計的信心。

Sorowako 項目地段已逐步從鑽探間距 400 米減到 50 米的間距。目前的礦產資源量分類是根據以往有關品位變化鑽孔間距影響的經驗。這說明了根據 100 米鑽孔間距進行的估計與鑽孔間距 50 米比較時出現顯著的變化。因此，需要界定測量資源的鑽探間距為 50 米。

由於變異函數是在紅土礦平面內合理定義，對以橫向連續性（以變異法衡量）劃分所示或所衡量模型有足夠的信心。所示資源量按鑽探間距 50 米至 150 米定義，推斷資源定義為鑽探間距為 150 米至 450 米。PTI 使用的礦產資源量分類指南概述於表 4-9。

PTI 正計劃補充固定鑽探密度方法與其他短期規模的不規則地形地區鑽探，以適應當地的地質複雜性。這是一個值得讚揚的方法，以提高資源量估計信心。

表 4-9：礦產資源量分類標準

	資源分類		
	實測	指示	推斷
最小樣品的密度（點/平方公里）	400	399 - 45	44 - 5
最大採樣間距（米）	50	50 - 150	150 - 450

指示的礦產資源類別是作為基礎，加上其他修正因素，以評估可能的礦產儲量，實測礦產資源類別用來評估探明的礦產儲量。

礦產資源報告

Golder 對選定資源區塊模型進行了全球體積模型報告，並發現一些資源文件中報告相似的協議。然而，一些地段如 AnoaSouth 以 BCM 引述資源量，而其他地段如 Nickel Hill 和 Petea BNorth 則以 DKP 噸引述資源量。由於模型中沒有密度、成礦類型變量或 DKP 回收率因素，Golder 不確定這些全球數字如何自資源區塊模型文件中摘錄。

有些地段殘餘土厚度差別很大和有些地段殘餘土區非常薄。這些地段將是難以開採和在儲量模式可接受的限度內調和。

幾何形狀和礦化體積估計可能比品位礦產資源模型估計風險高，尤其是在寬間距鑽探領域。

總的來說，支持礦產資源量的數據準備、探索性數據分析、變異法、品位評估及資源量分類過程是可以接受的。

按照支持實測資源量的鑽探構造，橫向父塊大小 12.5 米乘 12.5 米是適合的。不過對某些更大的資源地段而言則是太小了。

在 1 米高的區塊上使用 5 米和 10 米的垂直搜索半徑可能過高。造成的垂直平均平滑性可能扭曲最終品位/噸位曲線。



4.13 礦產儲量估計

Golder 審查確定礦物儲量的一般方法和要求。經濟上可行的用於礦產儲量估計的礦產資源量必須符合下列要求：

- 根據 Sorowako 項目適當盈虧平衡分析，就現有的 MMR 估計設立最低品位下限限制。
- 物料具有或經過與其他礦化物混合的適當處理後適合供料予加工廠的化學成份；
- 物料置於加工廠合理的距離內，或範圍研究表明，沒有發現預計超出同類開採中物料費用的異常費用；
- 物料是利用現有採礦方法可開採的；
- 根據提取的礦井殼層和計劃確認儲量的各地段已完成工程評估；
- 已就採礦稀釋和總可採能力作出適當準備；
- 該地段並無任何環保、林業和法律負擔。

在每個工程評估完成後，噸位分為可能或已探明儲量。基於以下考慮，噸位可能被降級到一個可能的水平：

- 殘採區的寬間距鑽探；
- 仍待解決的地質技術問題或關注因素；
- 採礦可能會影響當地社會的地段；
- 環保工作仍然需要；
- 展望重礫岩區（即 Marlene）；
- 礦井計劃出現的開採能力低。

礦產資源量可被視為是礦產資源前適用的經濟、地理、業務和環境限制的整體程序獲得支持。

開採

PTI 是以露天礦方法使用卡車、挖斗機和挖掘機進行開採。該業務的特點是移動大量物料、地層表土和礦化和再處理自礦井開採出現的礦化物，將其移到篩檢站、WOS 和工廠。除了採礦礦化和地層表土外，有用的基岩也予以開採，用來覆蓋礦井層。礦渣也被用來覆蓋礦底板。

採礦方法

採礦方法類似於條帶開採。礦井被分為隔間，按預定的順序開採，以滿足混合和回填要求。隔間的大小取決於其回填體積或容量。

開採模型

PTI 租約大約涵蓋 64 座山，在 2009 年的儲量中，每一座都有一個儲量 / 開採模型。每座山劃分成幾個隔間。



開採模型限制使用 12.5 米× 12.5 米× 1 米。該模型還沒有正規化，PTI 認為 Z 尺寸小型區塊大小適當，以確保選擇性開採礦體。地層表土、褐鐵礦、殘餘土和基岩之間的接觸面是不規則的，如圖 4-12 和圖 4-13 所示。



圖 4-12：西部區塊地質剖面（圖片 PTI）

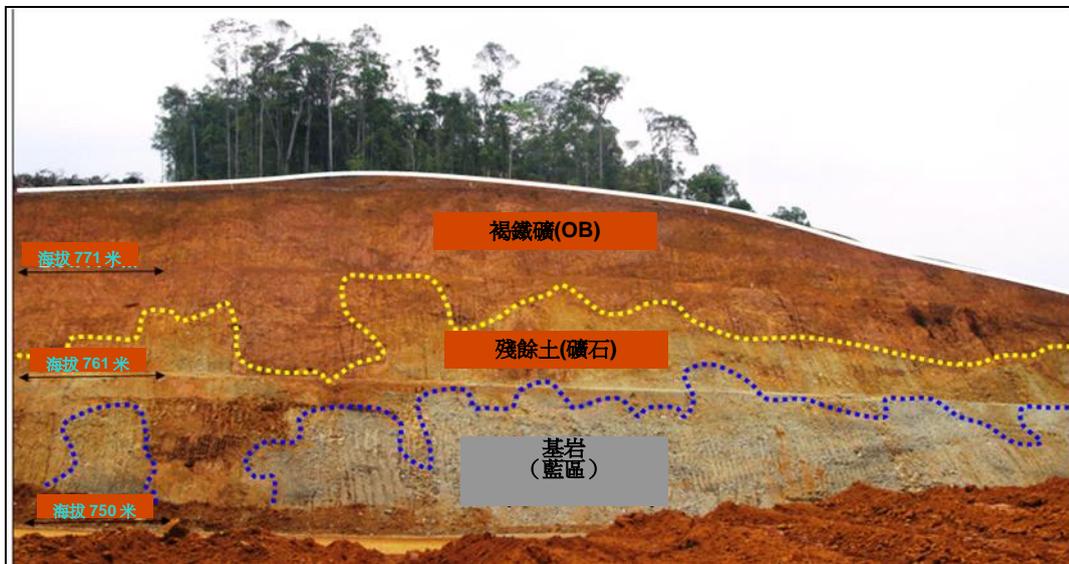


圖 4-13：Petea 地質資料（圖片 PTI）

PTI 使用配備小型設備的承包者有選擇地向下開採至基岩，基岩處的礦化結構呈波浪型。據悉，由於資源量定義中使用的鑽頭間距為 25 米乘 25 米或 50 米乘 50 米，故不可能對接觸面的所有不規則地帶進行塑模。因此，對不規則地帶進行開採主要是憑視覺，且需要合適的設備對礦化結構進行開採。

一旦開採完畢後，所產生的礦井層可以非常不規則，如圖 4-14 和圖 4-15 所示。這也顯示了殘餘土中有大石頭。

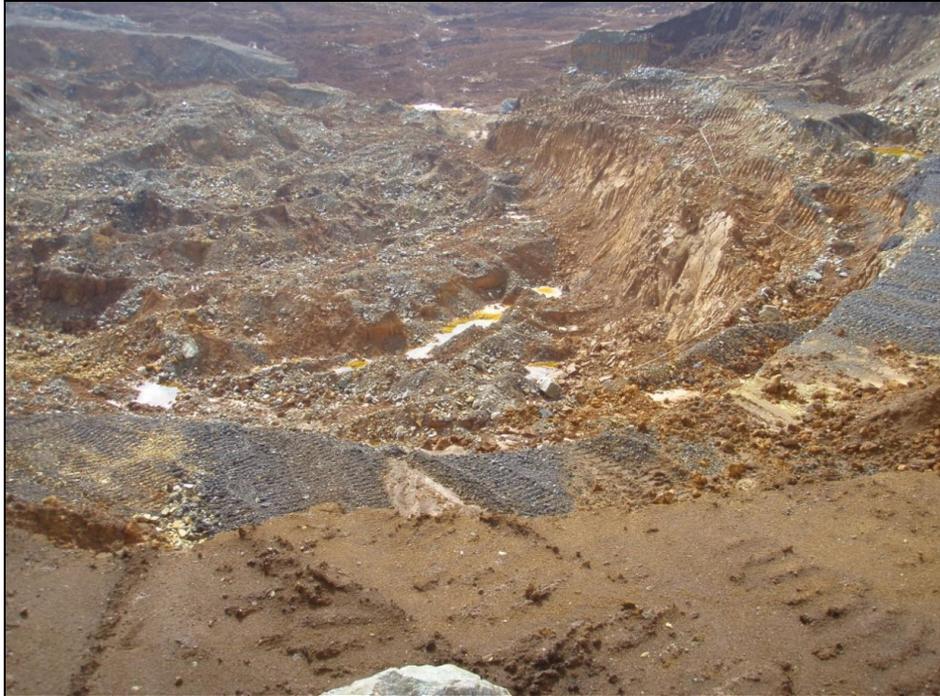


圖 4-14：不規則礦底板（圖片 Golder）



圖 4-15：顯示有大石頭的不規則礦底板（圖片 Golder）

礦石類型分類

PTI 認別三個成礦類型，簡稱為西部、東部和 Petea。西礦按礦區大石塊的數量和硬度進一步劃分為第一類、第二類和第三類。



這三個礦化類型有不同的特性，並且按西礦 68%與 Petea 礦或東礦 32%的比例混合。礦化類型的特點如圖 4-16 所示。

類別參數	西部區塊礦石類型			東部區塊&PETEA 礦石類型			
	-1" -1 類	-1" -2 類	-1" -3 類	-1" 高橄欖石	-1" 低橄欖石	-6"	-18"
主要礦石類型	一般為斜方輝橄欖岩和一些純橄欖岩			在東部區塊一般為二輝橄欖岩；在 Petea 一般為純橄欖岩			
超鎂鐵岩	鎳 <5%	低 5-10%	低 10-15%	低 10-15%	中 15-25%	高 30-60%	很高 60-100%
蛇紋石化水平	很低			整體上低		很高	
二氧化矽／氧化鎂 比率	2.2-2.6			1.8-2.0	1.6-1.8	1.4-1.6	
鐵含量	高：20-24%			高：20-24%		低：15-18%	
優化篩檢尺寸（提升中）	-1"			-1"	-1"	-6"	-18"
篩檢回收率 ROM 至 DKP	25-30%			35%	35%	50%	60%
提高篩檢回收率的 替代篩檢尺寸	無替代尺寸			無替代尺寸	-6"	-18"	整個 ROM
採用替代尺寸的篩 檢回收率	無替代尺寸			無替代尺寸	50%	60%	67%
石塊硬度	極硬	很硬		中等硬度	中等硬度	軟	軟
裂縫密度	很低	中等	中等	中等	高	很高	很高
開採難度	高	中等 (+)	中等 (-)	低	低	低	低
螺旋鑽探的殘餘土 厚度	<1.5 米	1.5 – 4.5 米	>4.5 米		注意用於東 部區塊礦石 分類		
預處理礦石的橄欖 石含量	中等	中等	中等	低	低	低	低
石頭部分的橄欖石 含量	高			高	低	低	低
OB 厚度	中等			除在 Petea 外整體上高			
礦石厚度	高			中等			

圖 4-16：礦石分類 (PTI)

資源量模型是建立在 Datamine 並轉換為 Vulcan，作為儲量或採礦模型。Vulcan 指令用於這一目的並執行以下功能：

- 用礦化類型和位置分配密度；
- 介紹了基於 cgl（礫岩）場的礦石損失；
- 原礦（ROM）、篩檢站產品（SSP）和乾窯產品（DKP）噸位估計；
- 從 DKP 中回收鎳和含有金屬：鎳、鈷、鐵、二氧化矽和氧化鎂；
- 每塊成本和收益
- 按鑽孔間距和礦化類型定義產品類型和儲量類別。

開採模型採用表 4-10 中定義的物料。



表 4-10：開採物料類型定義

類型	定義	回應
笨	藍區	基底岩層 - 未風化岩石
礦石	含鎳品位 > 1.5% 的礦化物料	一般來說殘餘土，但混入一些褐鐵礦。包括子品位物料 < 2 米厚
hpal	高壓酸浸	物料確定 HPAL 應建工廠
ob	含鎳 < 1.5% 的物料	表層土、褐鐵礦和殘餘土
廢料	廢物	礦化層與層之間子品位物料 > 2 米厚。礦化品位物料 < 2 米厚的被列為廢料。

該模型噸是由下列公式計出，其中按礦化類型提出了具體區塊的礦石損失：

$$\text{噸} = \text{體積} * \text{密度} * \text{cong_因素}$$

其中 cong_因素是 0.5 或 1。

Vulcan 指令中的 cong_因素作為稀釋因素，而它實際上是礦石損失因素。礦石損失應該被添加到廢料。

礦產儲量噸位以 DKP 噸表示。DKP 噸位透過應用原礦（ROM）噸的修改因素進行估計，取決於礦化類型，它可以改變 25% 至 60% 的 ROM 噸。

修改因素用來估計 SSP 和 DKP 的噸，見表 4-11。

表 4-11：SSP 和 DKP 的因素

礦石類型	類型	SSP	DKP
西部	1	0.52	0.25
	2 & 3	0.56	0.27
	4 (HO)	0.70	0.34
Petea	5 (-6")	0.78	0.50
	6 (-1")	0.70	0.34

各因素各自應用於 ROM 噸，即：

$$\text{SSP 噸} = \text{ROM 噸} * \text{SSP 因素} ; \text{及}$$

$$\text{DKP 噸} = \text{噸} * \text{DKP 因素}。$$

工廠回收率因素的應用如表 4-12 所示。



表 4-12：工廠回收率因素

礦石類型	工廠回收率	鎳因子
西部	0.875	0.95
Petea	0.875	0.931

品位下限

業務品位下限為 1.5% 鎳。品位下限並非經濟下限，而是按鎳、鐵、鎂矽（S/M）的化學成份比例厘定。品位下限任何變化均要求工廠作出改變，以適應變化了的礦料品位。

工廠礦料的鐵和 S/M 比值規格見表 4-13。

表 4-13：化學規格

	最小值	優化	最大值
鐵	19.50	20.25	21.00
S/M 比值	2.05	2.10	2.15

採礦方法的適當性

採礦方法是在潮濕條件下使用卡車和挖掘機操作的露天礦場採礦法，一般不需要爆破。礦井位於沿山兩側，一般為淺層。地層表土與礦化寬度的礦體典型特徵如圖 4-5 所示。地層表土平均高度約 12 米，礦化平均厚度約為 6 米。

隔間

每座山分為隔間。所有的地層表土和廢料被傾倒入採空礦井（隔間）。隔間大小是回填能力函數。目前的開採隔間的地層表土將用於回填以前開採的。隔間採礦序列旨在滿足混合和回填要求。圖 4-17 顯示了一個小山分成幾個隔間。

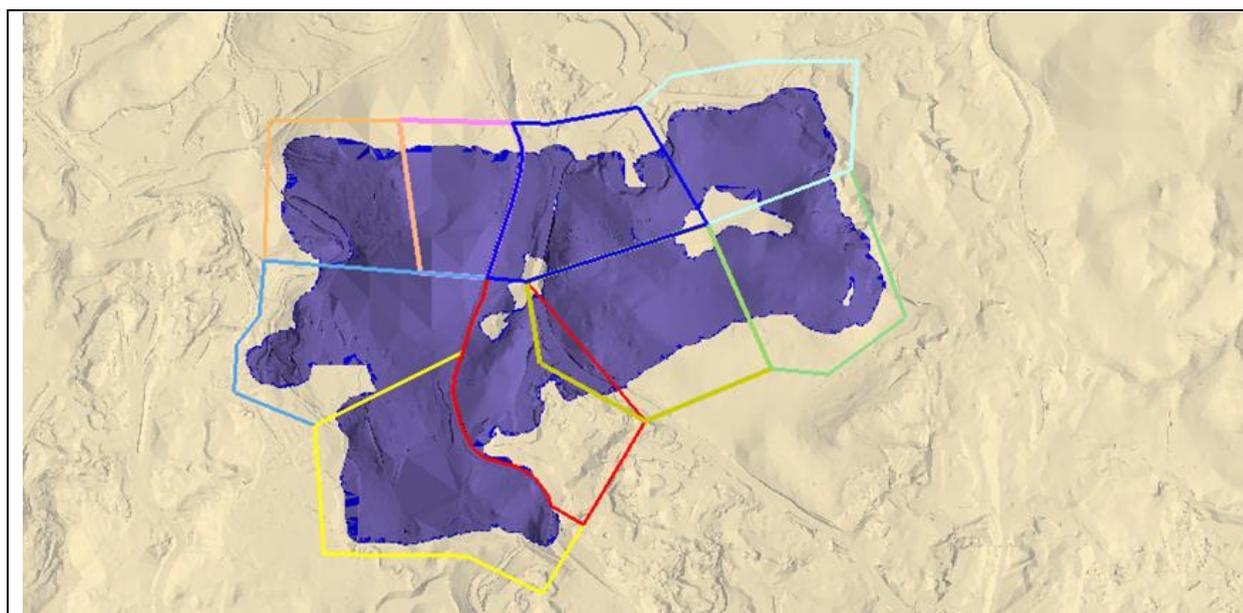


圖 4-17：典型隔間（PTI）



礦山和隔間相關基礎設施包括道路、切斷排水渠和沙池。這顯示在 圖 4-18。

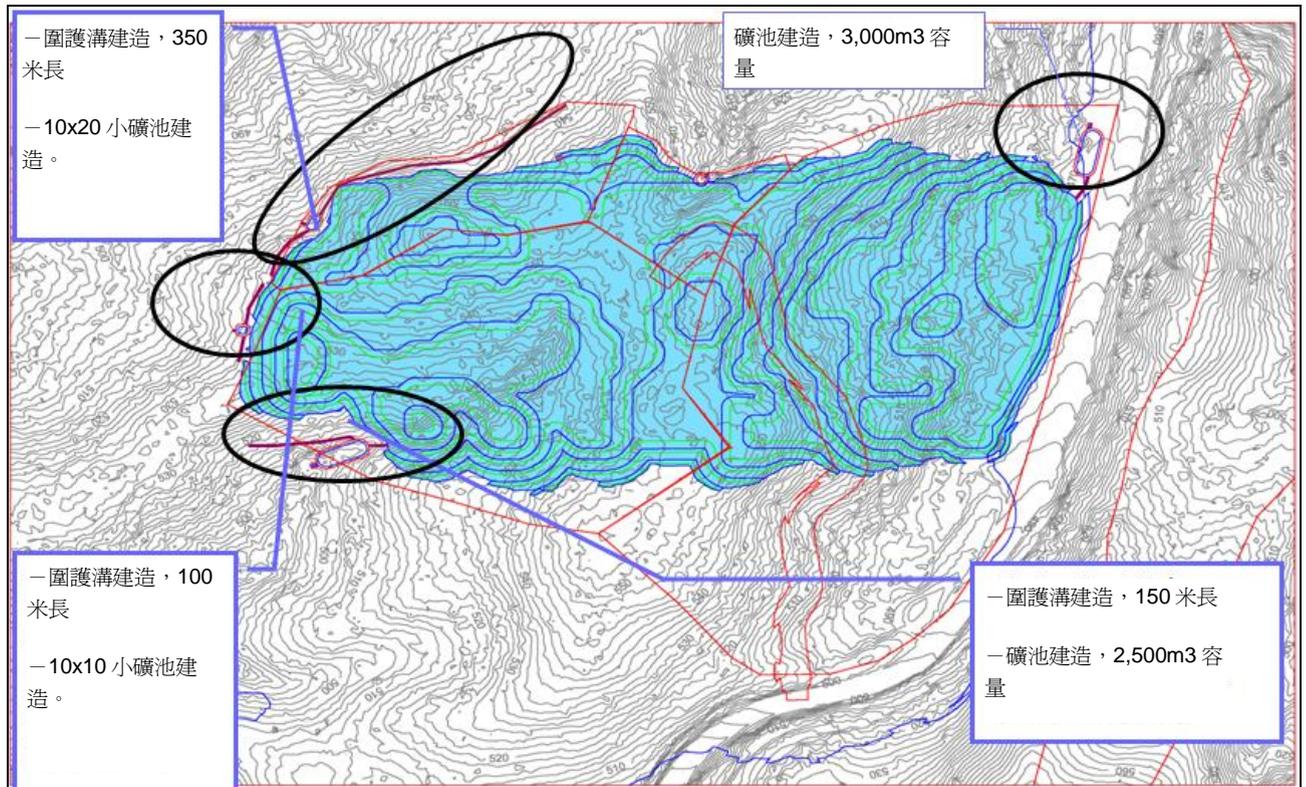


圖 4-18：礦山與隔間基礎設施 (PTI)

租約條件規定受干擾露天地段限於 1100 公頃，因此，限制了可開放進行開採的隔間數目。PTI 管理層為自己定有一個目標，將受干擾露天地段定在低於 1000 公頃，對受干擾和復耕地段制定的五年計劃列於表 4-14。

表 4-14：受干擾地段規劃

年	新受干擾地段 公頃	復耕地段 公頃	總受干擾地段 公頃
2008 年實際			988.9
2009 年計劃	100.1	104.7	984.3
2010 年預算	117.0	117.0	984.3
2011 年	126.4	132.0	978.6
2012 年	100.1	127.1	951.6
2013 年	126.5	141.4	936.6
2014 年	99.2	120.1	915.8



隔間設計似乎相互重疊，這似乎 是不同的隔間沒有被鏈接到最終礦井設計。這顯示在 圖 4-19，顯示 Anoa South 500 階地不同的重疊隔間。

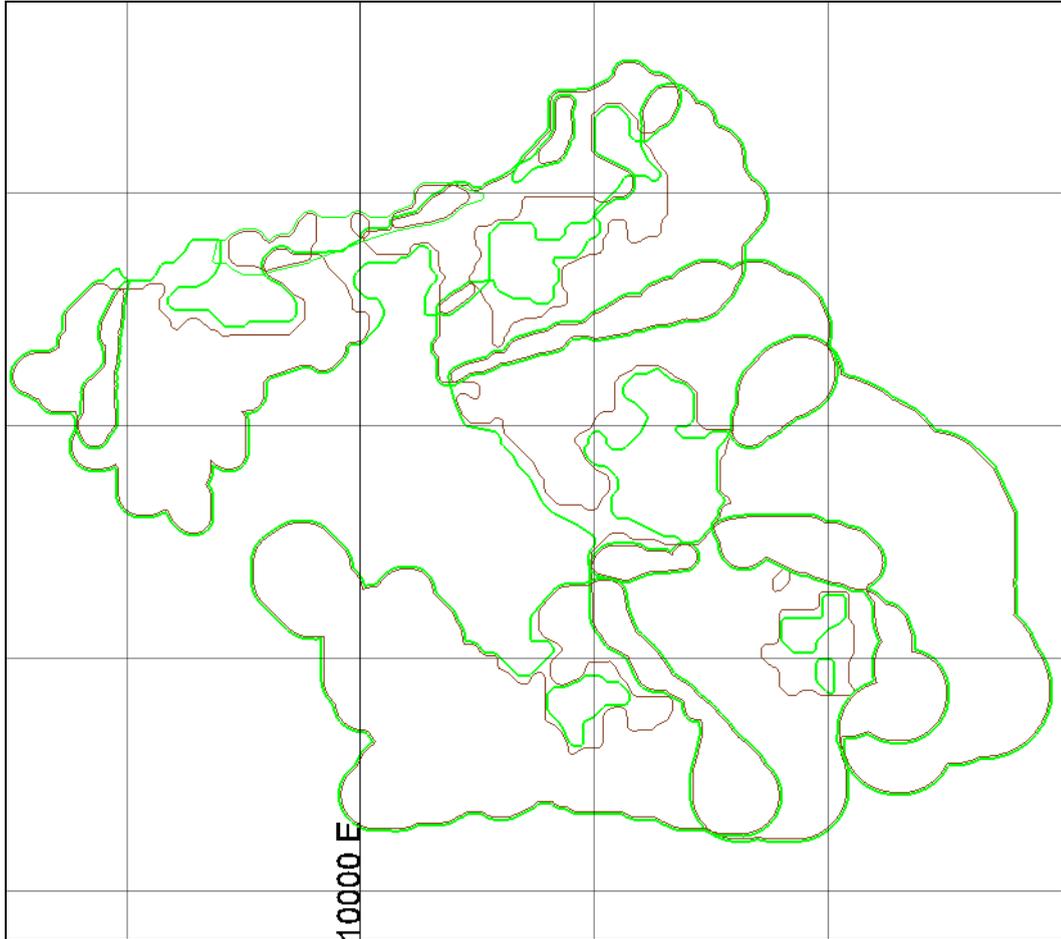


圖 4-19 : Anoa South 500 階地

車輛通行性

在所有天氣條件下維持可進入礦井對維持生產率是必不可少的。礦井中開採的物料是軟的，一般潮濕，含有多達 35% 的水份。地層要覆蓋好，使卡車和其他車輛可於其上行駛。

覆蓋層由一至一點五米的毛石料、篩檢後的廢棄岩石或礦渣組成。礦渣用於地層覆蓋面，而廢棄岩石和毛石料用於礦化結構（圖 4-20）。這種物料在一個階地完成開採後被回收再用。處置區亦需要覆蓋層，並需要最高兩米毛石料，維持處置區車輛通行。

礦井及處置區所採取的確保車輛通行措施似乎是成功的。



圖 4-20：使用廢舊物料和礦底板礦渣（圖片 PTI）

礦石和廢料開採

隔間開採按一系列步驟進行：

- 表土去除;
- 地層表土;
- 礦石;及
- 底部礦石。

表土去除

礦山上森林茂密，樹木要被砍倒。然後，將表土和樹木用推土機推成一堆堆（圖 4-21）。接著將這些物料裝上卡車，運到表土堆積場。復耕是採礦作業不可分割的一部分，表土盡快被放在復耕地段。由於 PTI 降雨量大，很難符合表土堆積場一些公認準則。一般準則包括：

- 建造表土堆積場，以盡量減少種子、營養和土壤生物區變壞，方式是避免雨後淋濕的表土聚集，因為這促進肥料堆製;
- 盡量減少堆積期限，期限長於約六至 12 個月內可能會導致種子和微生物結構退化和死亡，特別是當土壤水份含量高時。



圖 4-21：表土去除（圖片 PTI）

地層表土去除

地層表土超過 27 百萬噸計劃將在 2010 年開採。

覆蓋面由正鏟挖斗機開採。階地高度一般為 10 公尺，但如果大於這個，推土機被用來將地層表土推入挖斗機中。若地層表土與礦化的接觸面起伏，則推土機是用來清除地層表土，令礦化面對向挖斗機（圖 4-22）。其目的是選擇性採礦和減少稀釋。





圖 4-22：露天礦地層表土剝離（圖片 PTI）

挖斗機都配備了 12 立方米 桶和用於批量開採地層表土，但也可能被用於開採礦化厚度適合的礦化層。挖斗機裝載百噸卡車，但現場考察期間觀察到，50 噸卡車還開向挖斗機。不知道這一卡車和裝載機不匹配情況有什麼含義，現場工作人員還沒有對此展開調查。

PTI 隨後表示，據設計，50 噸重卡車由反鏟挖土機裝載，但當時在審計實地訪問中，反鏟挖土機並無參與工作，50 噸卡車開向了挖斗機。

開採

開採礦化與廢棄物之間的接觸面需要選擇性開採，基於這個原因，礦化的開採使用推土機和挖掘機。周圍接觸面的複雜性已在 圖 4-12、圖 4-13 和可憑視覺識別不同物料的圖 4-23 中說明。



圖 4-23：礦石鑑定（圖片 PTI）

挖掘機能夠自由挖掘高度小於 10 米的階地。挖掘機上裝有 4 立方米桶，允許選擇性開採。發現使用推土機向挖掘機方面推動，以提高生產率。

礦石開採由品位控制地質學家監督，該地質學家指示挖掘機，並採取樣品。品位控制系統和建議在第 4.11 節進行了討論。

礦化頂部清理計劃於 2003 年推出。當地承包商用小型設備清除的礦化頂部，這些位置推土機無法根據需要作出選擇開採。該項目已證明是成功的，PTI 在 2004 年購買小型反鏟挖土機清理頂部礦化。

「自下而上礦回收」項目開始於 2003 年，當地承包商使用小型設備，沿底部與藍區接觸面開採較大的設備不能有效處理的位置。這顯示在 圖 4-24。同時使用承包商和 PTI 機組人員是現在的標準做法。品位控制地質學家監督「底部接觸」礦化開採。