

Analysis of Hydrogeological Conditions of Sanshandao Gold Mine

Yuankui Wang

Sanshandao Gold Mine Operation Management Department, Shandong Gold Mining (Laizhou) Co., Ltd.,
Laizhou Shandong
Email: 174685883@qq.com

Received: Feb. 28th, 2019; accepted: Mar. 20th, 2019; published: Mar. 27th, 2019

Abstract

Sanshandao gold deposit is the first submarine gold deposit in China. Compared with other mines, hydrogeological research is particularly important. This paper studies the hydrogeological conditions of Sanshandao gold deposit from the aspects of structure, bedrock and so on. This paper summarizes the situation of underground water inflow, the characteristics of aquifer, the supply situation of underground water source and the measures to prevent and control water.

Keywords

Hydrogeology, Structure, Water Inflow, Water Control

三山岛金矿水文地质条件分析

王元魁

山东黄金矿业(莱州)有限公司三山岛金矿运营管理部, 山东 莱州
Email: 174685883@qq.com

收稿日期: 2019年2月28日; 录用日期: 2019年3月20日; 发布日期: 2019年3月27日

摘 要

三山岛金矿是全国第一个海底金矿, 相对其他矿山而言, 水文地质研究显得尤为重要, 本文从构造、基岩等各个方面对三山岛金矿的水文地质条件进行研究。总结出井下涌水量情况、含水层特点、井下水来源补给情况以及防治水的措施等。

关键词

水文地质, 构造, 涌水量, 防治水

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 自然地理概况[1]

矿区位于北、南、西三面环海东南与陆地相连的“舌”状岛屿上。岛内有相连的三个山包，最高点为 67.14 米，矿体埋藏于三个山包东南侧的山脚下。统观区内地形，南高、北低，东高、西低，略向北西倾斜，地面标高 1~6 米。

矿区西南约 6 公里的仓上北西近海处，地面隆起，标高 30 米；东北侧十几公里的海上山包，标高 22 米；东南侧 4 公里的单山，标高 41.8 米。

王河是区内唯一间歇性河流，源于莱州市东南大泽山白云洞水库，河长 48 公里，流域面积 376 平方公里，经矿区南侧入渤海。河流干枯期较长，夏季连续水流不超过 10 天。

区内属暖温带东亚季风区大陆性气候。夏季以东南风为主，冬季多西北风。据莱州市气象站 1959~1989 年 31 年的气象资料统计：年平均气温 12.5℃，最高 38.9℃，最低 -17℃；年平均降水量 595.77 毫米，最大 1204.8 毫米，最小 313.8 毫米，降雨多集中在 7~9 月份，占全年降雨的 60%以上，最长连续降雨日数为 4 天，降水 208.8 毫米；年最大蒸发度 2379 毫米，最小 1779.2 毫米；平均相对湿度 63.87%；区域性最大积雪深度 200 毫米；最大冻土深度 680 毫米，解冻期为 2 月下旬至 3 月上旬。百年一遇海啸侵袭标高为 3.95 米。

2. 地层及构造

2.1. 地层

区内出露地层主要是第四系冲洪积砂砾石、粘质砂土和海积砂，最大厚度 50 米，伏于该层之下的太古界胶东群岩性为：斜长角闪岩、黑云母片岩、黑云母变粒岩。地层总体走向北东 - 南西向，倾向南东。山包上出露的为燕山期花岗岩。

2.2. 构造

矿区构造形迹主要有北东向及北西向两组，其中走向 40°、倾向南东、倾角 45°的 F1 断裂和走向 20°的 F2 断裂，还有本次调查新发现的北西向的 F3 断裂，F3 断裂：总体走向 325°~335°、倾角较陡，均在 85°以上，在倾向上呈舒缓波状，时而倾向北东，时而倾向南西。

3. 构造对水文地质、工程地质条件的控制[2]

构造不仅控制着金矿的成生，同时也严格控制水文地质、工程地质条件。F₁ 主断裂属压扭性质，挤压带岩石紧密，中心部位稳定分布 15~30 厘米的断层泥，具有阻水性。F₃、F₄、F₅ 三条北西向断裂经历了扭、张、张扭的破坏，造成沿北西向断裂带张性裂隙发育，充填程度差，导水性能强的特点，形成一条北西 - 南东方向的带状强含水带，这条带状强含水带是矿床充水的主要威胁。其它方向的裂隙，对不

同块段的地下水起着勾通作用。三条北西向断裂横跨各条巷道，松散的破碎带给巷道开拓带来了隐患。

4. 含水层(带、块段)、隔水层及其特征

区内可分第四系含水层、隔水层和基岩含水带(块段)，其富水、隔水特征如下。

4.1. 第四系孔隙含水层

除三个山包外，第四系广泛分布，从山脚向东南逐渐变厚，最厚 50 米，岩性可分四层，自上而下，一、三层为含水层；二、四层为隔水层。

第一含水层主要为中、粗砂，局部有细砂、砾石，向下有机质增多，含贝壳、海螺及灰色泥质物，厚度 3.50~17.09 米，平均厚 9.93 米，含孔隙潜水，因泥质物不均，富水性各异。

第二含水层(承压水)为中、粗砂，埋藏在棕黄色粘质砂土和含钙质结核的砂质粘土、粘质砂土之下，分布于 32 (1660)线以东、40 (1900)线 7 孔以南和 20 (1300)线 16 孔西南，该层不连续，24 (1420)~32 (1660)线缺失，含水层岩性为中、粗砂，厚度 3~4 米，最大 11.90 米，最小 0.50 米，水质类型 $\text{Cl}^- \cdot \text{SO}_4^{2-} - \text{Na}^+ \cdot \text{Mg}^{2+}$ 型，矿化度 60 (2500)线 47.7 克/升，40 (1900)线 22.4 克/升，接受南部基岩裂隙水及第一含水层、海水补给。

4.2. 基岩含水带(块段)

基岩含水带(块段)是研究矿区水文地质条件的重点。

区内基岩主要有太古界胶东群的斜长角闪岩、黑云母片岩、黑云母变粒岩和燕山期花岗岩，除三个山包出露的花岗岩外，其余全被 0~50 米的第四系覆盖。

受构造的影响，致密、坚硬的岩石产生裂隙或破碎，从而为地下水的储存和运移开辟了空间。在不同部位，岩石受力不均一，所产生的裂隙或破碎程度亦不均匀，致使富水性和地下水的运移复杂化，形成了含水不均的脉状裂隙水。这种裂隙水的存在，在平面上受断裂走向及断裂带宽度所控制，在剖面上将随断裂的倾向及发育深度而变化。根据 F_1 主断裂的阻水性质，可将本区地下水分为 F_1 断裂下盘水和上盘水。由于 F_3 、 F_4 、 F_5 三条北西向断裂的破坏， F_1 断裂上、下盘各自的富水性并不均匀。因此，按富水程度将 F_1 断裂下盘分为强含水带(I)、中等含水块段(II)和不含水块段(III)；将 F_1 断裂上盘分为弱含水带(IV)和极弱含水块段(V)。分述如下。

4.2.1. F_1 断裂下盘含水带(块段) [3]

I 带——强含水带：位于 F_1 主断裂下盘(北西侧)的 34 (1720)~36 (1780)勘探线之间(F_3 断裂影响带)和 40 (1900)~42 (1960)线之间(F_4 、 F_5 两断裂间)。这两条北西 - 南东展布的带状块段合称 I 带。

此带北西端基岩出露地表并延至渤海，向南东呈 45° 斜面被埋藏于 F_1 主断裂之下(F_1 主断裂倾角 45°)，带宽 120~130 m，北西端略宽。含水带厚度依从 F_3 、 F_4 、 F_5 三条断裂的发育深度，现尚未查明。含水带岩性为花岗岩、蚀变花岗岩、绢英岩化花岗岩、绢英岩等。岩石裂隙发育且为开型，裂隙面有铁质沉淀，有密集的流失孔。钻孔单位涌水量最大 1.0629 升/秒·米。

在同一带内，富水性并不均一，如 40 (1900)/ZK7 孔单位涌水量 0.1436 升/秒·米，而 40 (1900)/ZK59 孔的单位涌水量 1.0629 升/秒·米，坑道内涌水点多集中在北西向断裂面及北西向裂隙，远离断裂面涌水点则少。就是同一断裂的不同部位，随其断裂开启程度不同，涌水量也不相同。如-240 m 巷道 F_4 断裂处，巷道北西侧断裂面有泥质物、糜棱岩等充填，故无涌水现象，而南东壁断裂面呈开启型或仅有很疏松的角砾充填，巷道开拓时曾涌水。又如各巷道开拓至 F_3 断裂时，涌水量也不相同(见表 1)。

Table 1. Water inflow at the opening F_3 fault in each middle section
表 1. 各中段开拓 F_3 断层处涌水量

中段	斜坡道-130 m	-105 m	-150 m	-195 m	斜坡道-245 m	-240 m
涌水量 立方米/昼夜	1032	240	576	400.80	3360	3855.60

II 块段——中等含水块段：位于 42 (1960)线北东、 F_1 断裂下盘和 I 带所夹部分块段。北西端局部基岩裸露并延伸渤海，向南东隐伏于 F_1 断裂之下，顶面呈 45° 斜面延伸。主要岩性为花岗岩、蚀变花岗岩、绢英岩化花岗岩、绢英岩等。裂隙面黄铁矿明显，局部有开口裂隙及不连续的流失孔。坑道内观察，北西、北东东向裂隙均有，但其规模、数量远不如 I 带，涌水点、涌水量也少。钻孔抽水单位涌水量为 0.0463 升/秒·米。

III 块段——不含水块段：位于 34 (1720)线南西、 F_1 断裂下盘。北西端岩石出露地表并伸向渤海，其余地区隐伏于第四系或 F_1 断裂之下；向南东也是呈 45° 角斜下延伸。主要岩性有花岗岩、蚀变花岗岩、绢英岩化花岗岩、绢英岩等。岩石裂隙不发育，偶遇裂隙也多为闭型或被泥质硅质充填，钻孔单位涌水量为 0.0092 升/秒·米。已开拓的巷道均较干燥，仅局部见滴水、渗水现象，故将此块段视为无水块段。

4.2.2. F_1 断裂上盘含水带(块段)

IV 带——弱含水带：位于 F_1 断裂上盘(南东侧) 34 (1720)~36 (1780)线之间(F_3 断裂影响带)和 40 (1900)~42 (1960)线间(F_4 、 F_5 两断裂间)的两条北西 - 南东展布的带状块段。埋藏于 0~50 m 第四系之下。底面随 F_1 断裂 45° 角向南东延伸。岩性为胶东群老地层、花岗岩等，钻孔单位涌水量为 0.039 升/秒·米。

V 块段——极弱含水块段： F_1 断裂上盘出 IV 带的所有地段。伏于 0~50 m 第四系之下，底面呈 45° 角向南东斜下延伸。岩性为胶东群老地层、花岗岩等，含水性极弱，钻孔抽水试验，单位涌水量为 0.0144 升/秒·米。

矿体赋存于 F_1 断裂下盘蚀变带，坑道及系列构筑物均在下盘。由上述分析可知， F_1 断裂下盘 34 (1720) 线南西块段(III)为无水区；I 带为强含水带，是坑道充水的主要威胁；II 块段亦有一定水量流入坑道。 F_1 断裂上盘的 IV 带和 V 块段的地下水受 F_1 断裂的阻隔，水量也不大，对坑道充水不会造成威胁。

5. 各坑道间的水力联系

矿山的各坑道都揭露了断裂 F_3 、 F_4 、 F_5 ，其性质为张扭性，断裂两侧裂隙发育，大都为张开型，为地下水的运动提供了良好的通道，使各坑道间存在着密切的水力联系[4]。

5.1. 垂直方向上的水力联系

三山岛金矿建设中，随着开采深度的增加，各中段巷道的涌水量不断变化，当下一中段开拓中出现涌水，上一中段的涌水量则明显减少，以致干枯。

如 1986 年 7 月，-105 m 中段 42 (1960)线掌子面发生涌水， $Q = 1920$ 立方米/日，-70 m 中段的 705、706、708 及 -70 m 干线各出水点全部干枯；

还有 1986 年 6 月 29 日，-150 m 中段向北掘进遇到 F_3 断裂时，产生冒顶、塌帮及涌水现象，导致斜坡道-130 m 处水量明显减少，-135 m 出水点干枯；

1986 年 9 月 14 日，-150 m 中段主井石门处涌水，导致 -105 m 中段出水点全部干枯；

1988 年 2 月 29 日，-195 m 中段 42 (1960)线附近涌水，3 月 8 日发现 -150 m 中段 40 (1900)线钻孔由喷水变为无水，3 月 9 日正式将 -150 m 中段 1880、1900、1920、1940、1960 线各涌水孔全部打开，除个别孔涌水外，其他由原来的涌水变为无水；

1988年11月,粉矿回收斜坡道-320 m处突水,水量3633立方米/日,导致-195 m中段40(1900)~42(1960)线间干枯,-240 m中段42(1960)线附近水量减少,1940线钻孔喷水距离由原来的5 m减少到2 m。充分证实了地下水沿构造裂隙在垂直方向上有着密切的水力联系。

5.2. 同一中段内的水力联系

坑道水不仅在垂直方向上有联系,在水平方向上沿裂隙也发生联系。

如-105 m中段42(1960)线附近突水后,导致巷道南西方向的 F_3 断裂处及40(1900)线附近的涌水点水量明显减少。

1988年4月-195 m中段3号溜井巷道两次涌水,水量由943立方米/日增至3079立方米/日,此时南东方向3号溜井巷道与主巷道交会处涌水点基本干枯;3号溜井巷道与主巷道交会处涌水时,使南西方向的 F_4 断裂处涌水点基本干枯。

再如-150 m中段 F_4 断裂出水点干枯也是因为巷道向北东方向掘进遇有新的涌水点所致。

这种水平截流现象说明坑道地下水在水平方向上有密切的水力联系。

6. 坑道涌水量的变化特征

矿山自80年开始建设,随着开拓深度的增加和水平巷道的延伸,排水量不断地发生变化,从排水量的变化曲线图看:掘进中遇到大的突水以后,总排水量有明显的增加,随着时间的延长,水量又逐渐减少。1989年1月以来,水量有逐渐减少的趋势。经过多年涌水量观测,坑道涌水量随季节、海潮影响而变化很小。

三山岛金矿矿体位于 F_1 断裂下盘的构造影响带内,34(1720)~42(1960)线间发育着数条次一级的北西向断裂与 F_1 断裂交会,构成了金矿独特的水文地质块段。矿床内裂隙发育,多为张开型,为地下水的赋存和运移创造了良好的条件。矿山建设中多次发生涌水,影响了矿山建设,证实了该区段是强富水的。

42(1960)线以北裂隙亦较发育,但多被充填,也有张开型,其涌水点或涌水量都不如34(1720)~42(1960)线之间。34(1720)线以南,裂隙不发育或有充填型及闭合型,巷道较干燥,开拓时仅见滴水或流量甚微的淋水现象。

通过调查认为34(1720)~42(1960)线间为富水性最强的区段,42(1960)线以北次之,而34(1720)线以南无水。坑道不同区段的涌水点及涌水量的不同与水文地质条件分区相吻合。

7. 水质变化特征

三山岛金矿从勘探到矿山建设开采,至本次调查,在各不同工作阶段都取得了大量的水质分析资料。大量的水质分析资料表明,矿床水位高矿化度的 $Cl^- - K^+Na^+$ 型水,矿化度高于海水(海水矿化度26~30克/升),只有个别低于海水。

据矿区勘探时的水分析资料看:地下水的矿化度在矿床中段高,北东、南西两端偏低。40(1900)~44(2020)线附近,矿化度56.6~61.1克/升;20(1300)~28(1540)线附近,矿化度10.0~42.5克/升;48(2140)~54(2320)线,矿化度29.0~59.9克/升;64(2620)线附近又偏高为60.4~60.8克/升。

矿山长期大量排水,不仅破坏了地下水的天然流场,同时水质也发生了变化。通过对水质资料的分析,三山岛金矿水的矿化度有如下特征(见表2)。

7.1. 从矿坑水的上下位置来看,水的矿化度随着深度的增加而增高

如1760线各中段水的矿化度(见下表2):-240 m中段水的矿化度最高,一般大于40克/升,最高75.17克/升。在同一中段的同一位置上的探矿孔,在垂直方向上呈扇形分布,其水的矿化度同样有上低下高的

特点(见表 3)。

Table 2. Mineralization of water in the middle sections of Line 1760

表 2. 1760 线各中段水的矿化度

中段	-105 m	-150 m	-195 m	-240 m
矿化度(克/升)	24.61~32.79	26.95~33.89	29.36~38.87	39.62~63.82

Table 3. Mineralization table of borehole water with fan-shaped distribution

表 3. 扇形分布钻孔水的矿化度表

	孔号	矿化度(克/升)		孔号	矿化度(克/升)
-195 m 中段 1760 线	8 (上向孔)	31.82~29.36	-240 m 中段 1760 线	12 (上向孔)	48.26~39.62
	9 (中间孔)	35.32~34.72		13 (中间孔)	63.82~59.35
	10 (水平孔)	38.87~37.79		14 (水平孔)	63.60~59.94

7.2. 在水平方向上, 离断裂带 F_1 近的, 水的矿化度高, 反之距 F_1 断裂远的则矿化度低

如-250 m 中段 3 号穿脉巷中放水孔垂直于 F_1 断裂方向排列, 其矿化度变化(见表 4)。

Table 4. Mineralization table of No. 3 through vein drainage hole in -250 m middle section

表 4. -250 m 中段 3 号穿脉放水孔矿化度表

孔号	2503-1	2503-6	2503-14	2503-7	2503-9	2503-10	2503-3	2503-4
矿化度 (克/升)	50.01 ~ 59.40	47.65 ~ 59.06	38.26 ~ 49.72	34.94 ~ 36.66	31.13	33.44	31.80 ~ 33.55	31.56 ~ 33.46
至 F_1 距离(m)	94	118	137	145	169	170	219	229

表 5 中两个出水点不仅矿化度不同, 水温度也有差异。离 F_1 近的-240 m 中段 13 孔矿化度、水温都高于远离 F_1 的-250 m 中段五岔路口水点(见表 5)。

Table 5. Mineralization table of two borehole water in the middle section of -240 m and -250 m

表 5. -240 m、-250 m 中段两钻孔水的矿化度表

位置	-240 m 中段 1760 线 13 孔	-250 m 中段五岔路口
矿化度(克/升)	63.82~59.35	51.16~45.74
温度($^{\circ}\text{C}$)	26.8	25.8
至 F_1 距离(m)	105	155

7.3. 随着矿山开采大量排水时间的延长, 矿坑水的矿化度有逐渐变小的趋势

-70 m 中段 11 号水点, 1981 年 7 月 11 日取样矿化度为 52.65 克/升, 同年 11 月 25 日为 48.67 克/升, 1984 年 7 月 20 日则为 40.99 克/升, 1986 年 5 月为 31.02 克/升, 虽有下降趋势, 但仍高于海水。

8. 结论与建议

8.1. 结论

三山岛金矿坑道主要充水地段为 I 带, 即 F_1 主断裂下盘的 F_3 、 F_4 、 F_5 三条北西向断裂带。坑道进

水方向主要为北西、南东向，其次为北东向。坑道充水水源为现代海水、封存的古海水，另有微量大气降水、第四系孔隙水的渗入补给。在矿山长期排水状态下，矿坑水的矿化度将会逐渐降低，但降速是相当缓慢的。各涌水点的矿化度将逐渐趋于海水矿化度，个别点也有可能低于海水的矿化度。

8.2. 建议

继续加强地表、坑道水位、水量、水质、水温等动态观测。选择较稳定的涌水点，观测要持久，以保证资料的连续性。在矿坑长期排水状态下，继续分析研究充水水源及水文地质条件或地下水流场的变化。在 60 (2500)~64 (2620)线间第四系隔水底板缺失处建立第四系地下水长期观测孔。在 F1 主断裂上盘建立观测孔，掌握上盘水位动态，进一步了解 F1 主断裂的阻水性能。可进行专门性地下水同位素研究，并要保证有尽可能多的涌水点资料，进而研究矿坑水水源及其变化。可继续做地下水连通试验，确定各方向地下水进入矿坑的速度。监测坑道涌水量与季节变化、海潮的关系。预测下一水平坑道涌水量可采用类推法。超前疏干时，在保证采场疏干的前提下，对个别涌水点能堵即堵，可节约排水经费。

参考文献

- [1] 山东省地质矿产局. 三山岛金矿水文地质条件研究报告[R]. 1991.
- [2] 高松, 张军进, 等. 三山岛北部海域金矿区水文地质特征分析[J]. 黄金科学技术, 2016, 24(1): 11-16.
- [3] 陈兵宇, 等. 三山岛金矿水文地质特征及深部涌水量预测[J]. 价值工程, 2014(28): 95-96.
- [4] 张玉泉. 三山岛金矿开拓时期的水文地质研究[J]. 勘察科学技术, 1990(3): 43-45.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2329-7301, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: me@hanspub.org