

滇中宝马山二氧化碳气苗的自溢现象

邓克杞

(铁道部第二勘测设计院)

一、自然、地质环境概述

气苗产出在云南一平浪、牟定、楚雄、南华等县的中部。拔海 2154.45 米，四邻接敦仁、楚雄、牟定盆地（图 1）。

被调查具气苗溢出的村寨，如杨家阱、滕子朋、青豆冲、谢家村和倪子弯（图1）；分布在分水岭两侧低处。该气苗分布范围长约10公里。



图 1 宝马山CO₂气苗分布地理位置示意图

(一) 地层

气苗产出区的地层及其基底层位结构特点简要列表 1。区内红层发育全，出露广，岩性复杂。

气苗仅出露在侏罗纪、白垩纪泥岩、砂岩层内。例如滕子朋、青豆冲、谢家村和倪子弯气苗均沿白垩系高峰寺 (K_{1g}) 砂岩分布方向出现；杨家阱气苗是在侏罗系上统妥甸组 (J_{3t}) 泥岩，与高峰寺砂岩层位交界处溢出。分水岭山体内部，钻孔揭

表 1 红 层 结 构

地 层		年 代		岩 性 简 述	结构分类
层	位	名 称	代 号		
中 生 界	白 垩 系 (K)	江底河组	K _{2j}	泥岩夹粉砂岩	表层构造层
		马头山组	K _{2m}	中粗细砂岩	
		普昌河组	K _{1p}	泥岩、泥灰岩	
		高峰寺组	K _{1g}	细、中砂岩	
	侏 罗 系 (J)	妥 甸 组	J _{3t}	泥岩、泥灰岩、砂岩	
		蛇 店 组	J _{3s}	泥岩	
		张 河 组	J ₁₋₂	砂岩、泥岩	
	三 叠 系 (T)	一平浪组	T _{3yi}	砂岩、页岩、泥岩	
		南 驼 组	T _{3n}	砂岩、泥岩、灰岩	
					中间构造层
					基底构造层

示,在普昌河组 (K_1p) 泥岩裂隙内积聚 CO_2 气体,其下伏岩层仍为高峰砂寺岩。

(二) 构造

从区域地质构造背景来看,本区位于川滇南北向复杂构造带的南端西侧部位,在昆明山字型构造脊柱、西反射弧之间,并紧靠脊柱部位。

从图2可以明显看出,气苗溢出与地质构造的关系十分密切。例如在不同构造(背斜与断裂)的衔接处,形成主要气苗的溢出部位,滕子朋和杨家阱气苗颇为突出。

分水岭北坡,发育南北向背斜,核部出露高峰寺砂岩,形成延伸数公里的南北向谷地。沿谷地发育青豆冲、谢家村、倪子弯气苗。其中青豆冲气苗主要由五个气苗点组成,均分布在断裂带,或相互交叉点附近;谢家村、倪子弯气苗点分布情形也不例外。

分水岭高地,为一单斜构造,倾向南东,并被四邻构造切割。横切分水岭的 F_2 主干张性断裂,属先扭后张,方向平直,断距达400余米。 F_2 断裂把分水岭两侧气苗点连接呈一条折线形气苗溢出管道,也形成分水岭山体内积聚 CO_2 气苗的主要条件。

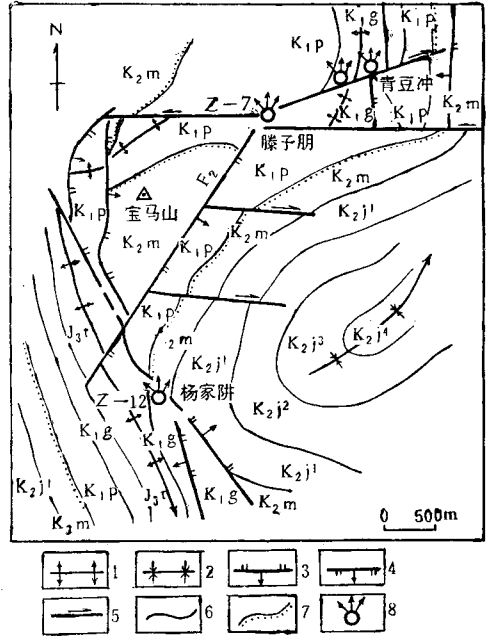


图2 宝马山分水岭地区地质略图

1—背斜; 2—向斜; 3—压性断层; 4—张性断层;
5—扭性断层; 6—地层分界线; 7—不整合界线
(底砾岩); 8—主要气苗

二、气苗成分及窒息现象

经对主要气苗的地面取样分析, CO_2 含量测定结果如表2。属高浓度、纯 CO_2 气苗类型。

1970年对滕子朋气苗作稀有元素分析,测得含微量氦 (He) 1.4—1.8%, 最高达 2.4%; 甲烷 (CH_4) 含量 0.05—0.01%, 最高达 0.84%。

各次的取样测试,均含氮、氧和氢的成分,但随采样方法的不同而含量不等。分析者认为属气苗与空气的混合物。

由于气苗成分含高浓度 CO_2 气体,在气苗的溢出处出现窒息性现象。

1. 倪子弯和青豆冲村寨在1953年与1958年间曾发生(在小于3米深的井,坑内)过伤亡两人的事故。其原因属气苗积聚在井、坑底部,空气中含 CO_2 量过多¹⁾所引起的。

2. 滕子朋气苗一气眼窝(直径0.4米,深0.3米)内小虫死去。据1978年10月中旬统计,10天内伤死小虫200余条。

3. 钻孔孔口所做白兔、狗、鸡和小虫实验结果:小动物在2分钟内倒毙,小虫在5秒内死去;烛火接近即灭。

三、气苗特征

(一) 发育特征

出露于较低的地面,一些主要气苗往往出现若干个气苗点,一个气苗点有许多的气眼。它们

1) 如果空气中含 CO_2 量超出 6% 时,人体会引起剧烈喘息;超出 10% 时,人体呼吸停止。

表2 宝马山气苗CO₂含量

采 样 编 号	日 期 (年一月一日)	含CO ₂ 量 (%)	气 苗 名 称
q-14	1979-10-14	93.11	倪子弯气苗
气-6	1979-9-26	98.46	
q-12	1977-10-4	95.89	谢家村气苗
气-5	1979-9-26	95.38	
q-15	1979-10-4	99.66	青豆冲气苗
气-4	1979-10-5	99.19	
H(1)	1969-7	99.50	滕子朋气苗
H-1	1970-1-14	96.85	
H-2	1970-1-14	96.90	
Go1	1978-8-15	98.50	
气-1	1979-10-5	98.88	
Go4	1978-8-16	99.78	
H-3	1970-1-14	96.50	
8-1	1978-8-16	99.28	杨家阱气苗
q-2	1979-10-4	98.56	

化验单位：云南省石油地质调查队、重庆4203信箱、四川石油研究院等单位。

表3 宝马山气苗分布简表

气 苗 名 称	高程 $\frac{\text{高点}}{\text{低点}}$ (米)	气苗点个数	比高 (米)	微 地 貌
杨家阱气苗	$\frac{1869}{1835}$	3	34	麓间谷坡、台地水田
滕子朋气苗	$\frac{1904}{1845}$	2	9	东西向沟谷上游水库、岸坡
青豆冲气苗	$\frac{1870}{1845}$	5	25	南北向谷地缓坡、水旱地
谢家村气苗	$\frac{1840}{1790}$	3	50	南北向谷地谷坡、小垭口
倪子弯气苗	$\frac{1798}{1785}$	2	13	南北向谷地、谷底水旱地

的位置、高程、地形地貌见表 3。

不同环境的气苗点有不同表象，如在水无地面的气眼，发出微弱的嘶裂音响，滕子朋岸边的气苗点较清晰。

在水库或水塘底的气苗点，水面连续地或间断地冒起大小不等的气泡，强烈的呈沸腾状。

在水田或泥沼地的气苗点，发生鼓泡，冲开烂泥冒水冒气，如倪子弯气苗在40平方米的水田中，气孔百余个。

气眼与泉眼在同一处，水气并溢，冒水冒泡发出音响；无泉时单溢气体。

杨家阱气苗点与上升泉同一位置。经钻孔(Z-12、孔深100.30米)，在孔口出现水气并喷，喷

高1.9—2.5米。

（二）时空变化特征

一些气苗点在短时期，出现突然“消失”或气眼位置发生改变的现象。同时气苗还表现为间断时续（久者数年、短者数日），或时而存在，时而消失的现象。

杨家阱气苗，Z-12钻孔孔口的水气并喷，正常每2小时要发生一次，每天12—13次；但还存在周期性变化，即每10天内总有一天少发生10次。

滕子朋一气苗点，原在水沟底，因水库修建，水位提高2.5米，气眼从沟底移至岸坡，相差9.0米。

（三）气苗剩余压强

把地面测得的气苗压力值称为气苗剩余压强。实测滕子朋气苗钻孔口溢出气体压力0.21—0.27公斤/厘米²。

气苗剩余压强值的大小，决定气苗在地面反应的（包括音响、水中表现以及时空方面的变化）强烈程度。如Z-7钻孔，气体在孔内上溢，发出的音响，距孔位50米外尚能听清楚，孔口气流（气浪）高出孔口4—5米。Z-12钻孔水气并喷高度、时间长短、周期性变化等情形，同样决定于气苗溢出地面时剩余压强值的大小。

气苗从地壳深处自溢前的压力值称气苗始态压强。气苗在地壳深部上溢时克服高程、沿程各种阻力，气苗始态压强不断降低。其任意深度的压力值称为气苗上溢压强。因此，气苗剩余压强的大小，决定气苗始态压强，所克服的高程，以及上溢流程中的各种阻力的大小。宝马山CO₂气苗溢出地面的剩余压强值已经很小，仅勉强能够自溢于地面，其溢出反应属实比较微弱。

（四）气苗终态温度

把地面测得的气苗温度称为气苗终态温度。在滕子朋气苗Z-7钻孔口测得气体温度为19—20℃，在其他气眼处手试温度为常温度。

地面以下一定深度（50—100米内）的地温度为恒温度，实测为19—21℃，确定恒温带地温为20℃。其以下深度的地温通常随深度增大而升高。但气苗上溢时，气苗的温度随上溢高度的增加而不断减温。接近地面，气苗与地质体、水体温度起均衡作用，因此，气苗自溢于地面时，气体终态温度已接近恒温带地温度。

四、气苗自溢流程模式

为较好地分析研究调查资料，较直观地揭示气苗在地壳深部存在、上溢和溢出的机制问题，特模拟“宝马山CO₂气苗自溢流程模式”如图3。

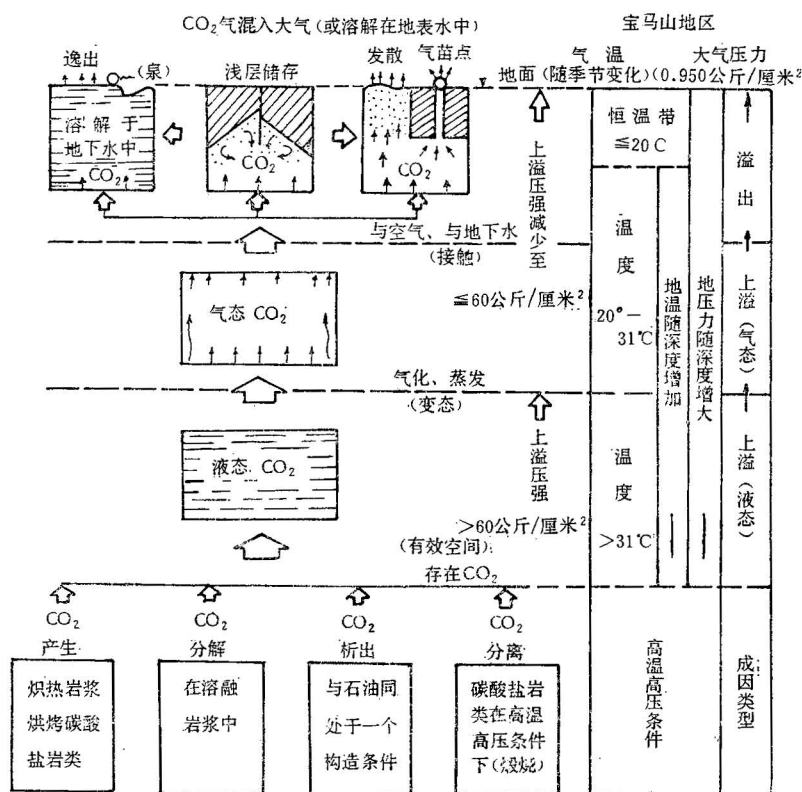
气苗自溢流程系指在地壳深部产生、赋存的CO₂气体或气藏，依靠其自溢能力（始态压强、上溢压强、温度及气量）上溢很大高程，直至抵达地壳表面溢出的全过程。

对模式图中的有关主要问题分析如下。

（一）成因、赋存类型

目前国内外大致有如下几种见解：

1. 从物质来源看，分有机成因和无机成因两大类。
2. 从赋存条件来看，以液态或气态存在于地壳深部的有效空间里。如我国广东三水盆地距

图 3 宝马山CO₂气苗自溢流程模式

地面1400多米深部的古岩溶洞体内, 储存大量CO₂气体¹⁾。

3. 与石油同处于一个构造中, 国外一些著名油田, 如墨西哥坦皮油田²⁾既产石油又产CO₂气体。

(二) 自溢条件

产生、赋存在地壳深部的CO₂气体, 要达到上溢, 上升很高的高程, 克服沿程各种阻力, 直至地壳表面溢出, 必须具备的条件为:

1. 自溢能力, 指产生、存在于深部的CO₂始态(液态或气态)压强, 始态温度和气量。

宝马山CO₂气苗溢出地面时的自溢剩余能力, 在明显的溢出点, 实测气量为2.0升/秒, 压力为0.25公斤/厘米², 温度20°C, 仅仅能够勉强达到外溢。

2. 地质条件, 指能够提供CO₂气苗赋存、上溢和溢出的有效空间, 地质条件结构条件。

图2所示宝马山地区的地层、构造等, 已经较清楚地表明气苗溢出与地质条件有十分密切的关系。

(三) 溢出方式及类型

气苗自溢于地面时, 存在几种方式。

1. 气苗点, 系指气苗集中在一处以一个或若干个气眼(孔)溢出的方式。成为地面调查的

1) 广东地质科技, 1978年, 第3期。

2) 见第10页注。

主要对象,研究气苗的重要依据。

2. 发散式,气苗在某种地质、地形条件下,呈线状、带状或面状溢出;沿渗透性能良好的地层、构造带方向上呈较大面积溢出,但为不易被人们所觉察到的溢出方式。

3. 浅层储存,从宝马山山体的地质条件分析,经工程钻孔的证实,气苗还可以被封存在岩层、断裂带内;以岩石孔隙、溶孔、裂隙或构造带作为聚集的场所。

4. 与地下水一起溢出并逸走,气苗与地下水接触,被溶解或占据含水层中的空间,沿地下水的出露(泉)通道溢出,进入大气层或地表水中。

五、气苗与水体的关系

气苗自溢至地壳表面,在岩体内要与地下水接触,抵地面与地表水(水库、水塘、沟谷和水田等)接触,成为气苗溢出方式的重要特征之一。

当气苗与水体发生联系时,主要表现为 CO_2 气体溶解于水的特点。气体与水的溶解度,取决于温度和压力的大小。

CO_2 气体的溶解形式主要以游离 CO_2 存在水中,但很容易逸走。例如杨家阱气苗在孔口取水,和在孔深100米处取水测试值差4倍之多,水流出口一段距离后又减少许多。

CO_2 气体溶解时,有一部分(约10%)与水作用生成碳酸(H_2CO_3)。与气苗发生联系的水质pH为5.5—6.5。因此在气苗区,与气苗有关系的地下水、地表水具有游离 CO_2 增多, HCO_3^- 值增大和pH值稍低的特点。表4为补给条件不同的两个钻孔的地下水水质特征。

表4 杨家阱、滕子朋气苗钻孔内水质特征

钻 孔 编 号	游离 CO_2	HCO_3^-	pH值	水 类 型
Z-12	$\frac{22.2}{976.8}$	$\frac{40.0}{2440}$	6.1	上升泉(承压水)
Z-7	$\frac{17.00}{748.00}$	$\frac{13.14}{801.54}$	6.3	沟谷、水库渗入为主

单位:分子毫克当量,分母毫升

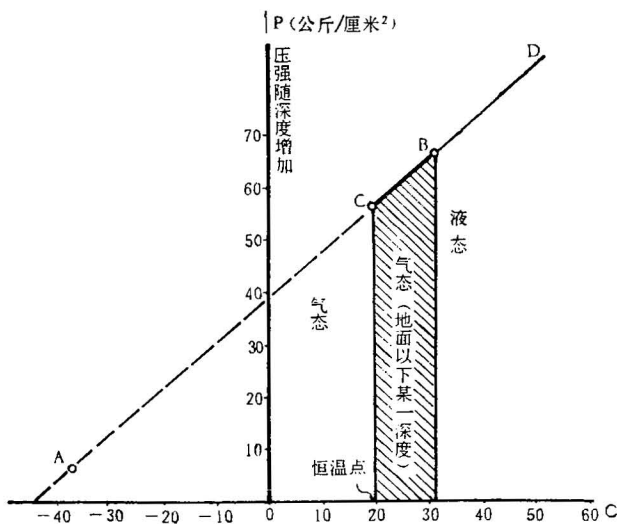
综上所述,在调查气苗时,要把地表水的不同流域、补给水源、径流条件进行分区分析,寻求与气苗发生联系的水域、圈出气苗溢出区,无气苗溢出区;注意分析地下水溢出条件、水温、补给条件等,寻求气苗与地下水的内在联系,地下水中溶解 CO_2 颇多时,可作气苗点。

六、气苗自溢流程中的性状变化

CO_2 气苗上溢的相反方向上,地压力和地温度是随深部增大而地压力增大,地温度不断升高,而气苗的始态压强、温度,则随气苗上溢高度增大而不断减压和降温的。气苗会发生性状方面的变化。

气苗在深部存在、上溢时的状态(液态或气态),取决于始态压强和始态温度,上溢压强和上溢温度。

如果 CO_2 气体在地壳深部的始态压强、始态温度满足图4CB直线段所表征的深部压强、温度关系时,那么气苗在地壳深部存在于有效空间里的状态,就为一种气态;而满足CB直线段的延长线段BD的任意深部的压强、温度时,气苗的状态,就呈一种液态。从图4所表征的气苗在深部的状态条件,容易形成液态。因此,宝马山 CO_2 气苗在地壳某一深部内赋存、上溢时是一种液态形式。

图4 CO₂呈气态、液态的条件分析

气苗溢出压力很大，呈压缩气体状态喷出，则会在气眼处出现霜冻现象¹⁾。

CO₂气苗在自溢过程中的减压、降温，不容易发生分解。与其他元素或物质不易起反应，它仍能独自存在，保持其在深部CO₂气体的浓度。或仅与其他气体混合。

但由于CO₂气体属一种酸性氧化物，如果遇到碱性强的物质，会发生化学反应，使得上溢CO₂气体被碱性物质大量吸收，减少气苗的溢出量。

呈液态的CO₂气苗，在它上溢流程中，要不断克服高程、复杂的沿程阻力，使之不断减压、降低温度。液态CO₂体积要发生膨胀，气化和蒸发，并吸收周围（地质体内）热量。当气苗上溢至距地面以下某一深部时，其温度、压力值达到如图4CB段所表征的压力、温度条件时，则会发生状态转化，液态→气态的变态。

气苗上溢的减压过程，也是不断吸收地质体内的热量，并散发热量的过程。

宝马山CO₂气苗溢出在地面已减压至0.25公斤/厘米²，气体温度已与地面以下恒温带温度（20℃）一致。如果

ON THE PHENOMENON OF CO₂ NATURAL OUTFLOW IN BAOMASHAN, CENTRAL YUNNAN

Deng Keqi

(No. 2 Surveying Designing Institute, Ministry of Railways)

Abstract

CO₂ gas with normal atmospheric temperature and high concentration has been found to flow out to the land surface in the central part of Yunnan province. The pressure of the gas issuing at the land surface is low.

The source of the gas seeps is the sandstone layer in the upper part of the "central Yunnan redbed". Their localities are related to geological structural and geomorphological conditions; they are distributed on the gentle slopes and in the valleys where are reservoirs or cultivated land on the opposite sides of the watersheds.

The gas is stifling. For example, it may cause injuries and deaths when escaping in wells and pits, and insects die near gas holes.

In this paper, a model for CO₂ natural outflow process is proposed, the characteristics, mode and types of the gas outflow are discussed, and the changes in behaviour of the gas during its outflow and the gas-water contact are elucidated.

1) 广东地质科技, 1978年, 第3期。