

文章编号:2096-5389(2018)05-0062-05

净举力对探空高度的影响分析

——以贵阳探空站为例

闵昌红¹, 吴兴洋², 翁 玲¹, 何肖国³, 柯利平⁴

(1. 贵州省贵阳市气象局, 贵州 贵阳 550001; 2. 贵州省气象信息中心, 贵州 贵阳 550002;
3. 贵州省息烽县气象局, 贵州 息烽 551100; 4. 贵州省威宁县气象局, 贵州 威宁 553100)

摘 要:利用贵阳探空站 2014—2016 年 L 波段高空资料,运用净举力公式、绝热方程和统计分析等方法对贵阳影响探空高度的升速及净举力因素进行分析。结果表明:①本站平均升速均 $> 400 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, 19 时高于 07 时,探空高度 19 时比 07 时低 427 m。②从地面到 850 hPa,实际升速小于标准密度升速,850 hPa 以上,实际升速大于标准密度升速,至 10 hPa 附近,升速接近地面层附近两倍,平均每上升 1 km 增大约 3%。③从净举力分析来看,业务工作中忽略日变化和季节变化因素,今后探测工作中,无雨、阴天、多云天气应少 300 ~ 500 g,秋冬比春夏少 300 ~ 700 g 为宜。④净举力偏高从而降低了探测高度,通常控制在 1 600 ~ 2 300 g 之间为宜,平均升速可控制在 $360 \sim 400 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ 。净举力分别为 1 600 g、2 000 g、2 300 g,探测高度可在目前基础上提高约 3 100 m、1 600 m、800 m。

关键词:探空高度;净举力;影响;分析

中图分类号:P412.21 **文献标识码:**B

Analysis of influence of net lifting force on sounding height

——Taking Guiyang sounding station as an example

MIN Changhong¹, WU Xingyang², WENG Ling¹, HE Xiaoguo³, KE Liping⁴

(1. Guiyang Meteorological Bureau, Guiyang 550001, China; 2. Climate Center of Guizhou Province, Guiyang 550002, China; 3. Xifeng Meteorological Bureau, Xifeng 551100, China;
4. Weining Meteorological Bureau, Weining 553100, China)

Abstract: Based on the L-band data from sounding station in Guiyang from 2014 to 2016, the factors that affect net lifting force and the speed-rising of the sounding altitude in Guiyang were analyzed by using the net lifting force formula, adiabatic equation and statistical analysis. The results show: ① The average speed increase of this station is more than $400 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ when the sounding height of 19 h is higher than 07 h. The sounding height of 19 h is 427 m lower than 07 h. ② From the ground to 850 hPa, the actual rate of increase is lower than the standard rate of increase of 850 hPa. When it is higher than 850 hPa, the actual rate of increase is greater than the standard rate of increase. When it is near 10 hPa, the rate of increase is almost twice the rate of the ground level. with an average increase of about 3% for every 1 km of increase. ③ According to the analysis of the net lifting force, daily variation and seasonal variation can be ignored in the practical work. The net lifting force is 300 g ~ 500 g less in cloudy, overcast weather or the weather without rain. The net lifting force is 300 ~ 700 g in autumn and winter than in spring and summer. ④ The net lifting force is raised to lower the sounding height, with the force ranging between 1 600 ~ 2 300 g as most appropriate and the average rate of increase at $360 \sim 400 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. When net lift-

收稿日期:2018-05-21

第一作者简介:闵昌红(1966—),男,工程师,主要从事综合气象观测工作,E-mail:969034430@qq.com。

ing force is 1 600 g, 2 000 g, 2 300 g respectively, the detection height can be increased about 3 100 m, 1 600 m, 800 m from current height.

Key words:sounding height; net lift; influence; analysis

1 引言

高空气象探测是综合气象观测的重要组成部分,高空气象资料是天气预报和气候分析的基础资料。探空高度是指探空气球的球炸高度,它反映获取高空探测资料的多少和完整性,历来为高空气象探测规定的重要考核指标之一^[1]。影响探空高度的因子很多,探空气球性能^[2]确定后,净举力是其中影响最重要的因素之一。净举力影响气球升速和探空高度,与不同台站不同天气状况密切相关,有许多分析总结值得借鉴^[3-9]。目前我国 120 个常规高空气象探测站使用 L 波段高空探测系统,随着高空探测技术的发展,仪器和探空气球性能的改进,全国高空气象探测站探测高度都有不同程度提高,从最近两年全国探空质量通报情况,我站探空高度提高速度偏低,影响了在全国排名。本文利用 2014—2016 年贵阳高空探测资料,分析了净举力对升速及探空高度的影响,并由此提出业务改进方案。

2 资料和方法

2.1 资料

本文所用资料为贵阳探空站 2014—2016 年 07 时、19 时 L 波段雷达高空探测资料。规定等压面气压、温度、升速及终止气压从观测数据文件 G 文件中提取,终止原因、球炸高度来源于工作软件产生的对应值班日志。剔除未炸因素(突失、仪器故障、雷达故障)、天气因素(雨)和球炸偏低记录。选择探空观测到球炸,同时探空高度≥26 000 m 的记录进行分析。

2.2 探空方式

贵阳探空站使用 GFE(L)1 型二次测风雷达系统,探空仪使用上海长望气象仪器厂 GTS1 型数字探空仪,目前使用 33 m 的探空绳(135 g)或大风放

球器(58 g)施放,为简化分析,GTS1 型探空仪系统施放前附加物重量取多个平均为 520 g,气球为湖南株洲或广州生产的规格 750 g 乳胶气球,重量为 750 ±50 g。贵阳探空站实际净举力控制在 2 480 ~ 2 980 g 之间。

2.3 计算方法

净举力分析采用《规范》公式^[8]为:

$$W_0 = 0.853 \, 1 \left(\frac{P}{t} \right)^{\frac{1}{6}} W = b_1 \frac{\sqrt{A}}{\sqrt{A+B}} \tag{1}$$

式(1)中: W_0 为标准密度升速值($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$), W 为气球升速($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$), P 为气压(hPa), t 为气温($^{\circ}\text{C}$), A 为净举力(g), B 为球皮和附加物体的重量(g),本站取多个平均, $B = 1\,270 \text{ g}$, b_1 是 A 的函数: $b_1 = f(A)$,常规高空探测中 $b_1 \approx 96.2$ 。

令 $L = \frac{W_0}{W}$, L 相当于升速系数,由所在高度的空气密度 $\rho(P, T)$ 求得,根据分析资料由平均等压面气压和温度求得。

3 结果分析

3.1 探空气球升速值随规定等压面变化特征

L 反映了气球升速的高度变化。施放前, A 、 B 已经确定,故气球的升速与所在高度的空气密度 $\rho(P, T)$ 相关。通过计算,同一规定等压面上 L 值在不同时次和月份并无显著差异,19 时值因空气受太阳辐射温度相对 07 时较高 L 值略小,以地面层为例差值平均仅 $L_{07} - L_{19} = 0.002 \, 1$,最大为 0.002 9,且随着高度增加,变化越来越小,从 L 值的月份变化来看,地面层差异最大,与全年平均值比较,在 $-0.007 \, 1 \sim 0.007 \, 4$ 之间,均 $< \pm 0.01$,且随着高度增加,变化越来越小。因此,以 2014—2016 年 L 平均值随着高度(规定等压面)变化值可以满足本研究的需要。

表 1 贵阳站 L 平均值随着高度(规定等压面)变化值

Tab. 1 Change of average value of Guiyang station with height (specified isobaric surface)

等压面/hPa	地面	850	700	600	500	400	300	250	200	150	100	70	50	40	30	20	15.0	10
L	1.03	1.02	0.99	0.94	0.95	0.92	0.88	0.86	0.84	0.81	0.76	0.72	0.67	0.65	0.61	0.57	0.54	0.51

从表 1 可以看出, L 从地面到高空逐渐减小,故气球升速随着探测高度增加,本站从地面到 850 hPa,实际升速小于标准密度升速,850 hPa 以上,实际升

速大于标准密度升速,至 10 hPa 附近,升速接近地面层附近两倍,平均每上升 1 km 增大约 3%。

3.2 贵阳站月平均升速分布特征

3.2.1 贵阳站 07 时、19 时月平均升速与探空施放高度 从统计时段分析,07 时平均升速标准偏差 9.6,19 时平均升速标准偏差 7.6,07 时升速的波动幅度稍大。07 时、19 时平均升速分别为 $408.9 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ 、 $413.8 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$,探空高度分别为 29 724 m、29 297 m,从表面上看,19 时平均升速仅比 07 时多 $4.9 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$,探空平均高度 19 时却低 427 m。分析其原因,我站 07 时充气通常习惯比 19 时要早,气球施放时,实际氢气泄漏量比 19 时稍多,净举力小,故平均高度要高。此外,气球升速与净举力近似于对数关系,随着高度增加,即使净举力增加过多,升速增大也并不明显,反而因净举力过大而影响了气球的爆炸高度。19 时施放探空气球时,太阳辐射加热空气,湍流和上升气流强于 07 时。即使空气密度相同,充气净举力相等,平均而言,19 时升速快于 07 时,故通常 19 时净举力要小,无雨或多云天气,19 时可减少 300 g 左右,晴天可减 500 g。

3.2.2 贵阳站月平均升速季节分布特征 图 1 为贵阳站月平均升速随季节变化曲线图。从图中可以看出,相同净举力下,探空气球的升速有明显的季节变化。以 07 时为例,秋冬季节,由于空气相对干燥,气球穿越 0°C 层后,表面结冰少,重量轻,升速快;春夏两季,空气湿度大,气球表层附水和结冰,重量增加,升速慢。如 2014 年 07 时平均升速最大值为 11 月 $427.6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$,最小值为 4 月 $392.4 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$,相差 $35.2 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ 。考虑到 07 时平均探

空高度 29 873 m,此高度上,若每增减 200 g 净举力,实际升速平均增减 $9 \sim 13 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$,故从季节角度来分析,探空员不能一成不变,使用一样的净举力。秋冬两季,净举力比春夏少 300 ~ 700 g 为宜。

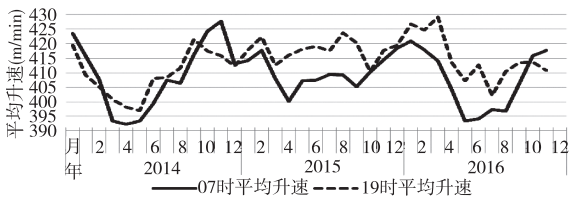


图 1 2014—2016 年月平均升速随季节变化曲线
Fig. 1 2014—2016 monthly average rise speed curve with seasonal variation

3.2.3 贵阳站月平均升速与探空施放高度的相关性 由于气球升速影响因子较多,施放高度与气球升速不是简单线性关系。图 2 为贵阳站月平均升速与探空平均高度变化曲线。07 时、19 时平均升速与探空高度相关系数分别为 0.48、-0.21,相关性并不明显,07 时呈现正相关关系,19 时为较弱负相关。07 时升速慢高度低,升速快高度高。这是因为气球的实际升速随着高度飞行越高越来越快。如果球炸高度较低,则实际平均升速并不快。以我站为例,气球 100 hPa 左右实际升速仅为 $360 \sim 380 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ 。所以参考升速变化还要依据施放的高度来调整净举力。

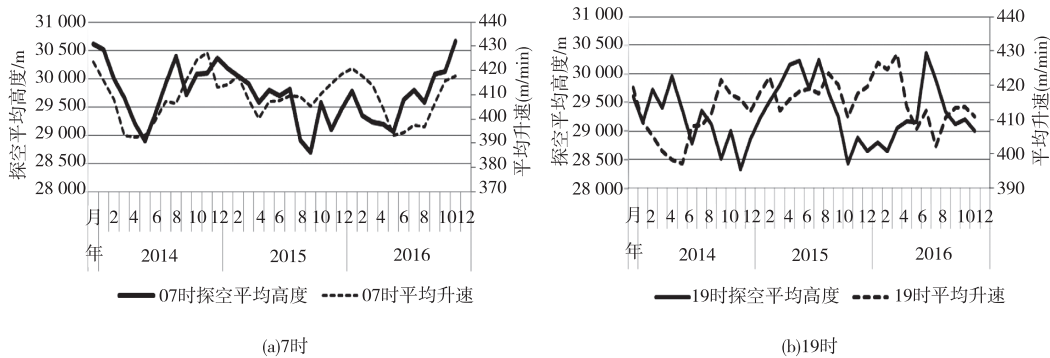


图 2 贵阳站月平均升速与探空平均高度变化曲线

Fig. 2 Change curve of monthly average rise speed and sounding average height of Guiyang station

3.3 贵阳站净举力估算

3.3.1 两种理论升速净举力估算 图 3 计算了两种假定升速 ($400 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ 、 $360 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$) 条件下贵阳站平均净举力理论值以及实际平均升速下的净举力理论计算结果。从图中可以看出,若假定升速为 $400 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$,07 时、19 时平均净举力分别在

$1\,756 \sim 1\,789 \text{ g}$ 、 $1\,714 \sim 1\,778 \text{ g}$,平均分别为 $1\,756 \text{ g}$ 、 $1\,744 \text{ g}$;若假定升速为 $360 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$,07 时、19 时平均净举力分别在 $1\,385 \sim 1\,419 \text{ g}$ 、 $1\,379 \sim 1\,409 \text{ g}$,平均分别为 $1\,398 \text{ g}$ 、 $1\,393 \text{ g}$ 。估算表明,以地面气象条件 $\rho(P, T)$ 估算得出的控制升速下的净举力从 $360 \sim 400 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$,平均净举力增加 350 g 左右。

而 $\rho(P,T)$ 的季节变化带来的净举力变化差异较小,最大相差也仅为64 g。实际工作中,几乎可忽略不计,这就造成了探空员在控制净举力提升高度

时,基本没有考虑到实际净举力的季节变化,从而忽视了合理控制净举力最大限度提高探空高度。

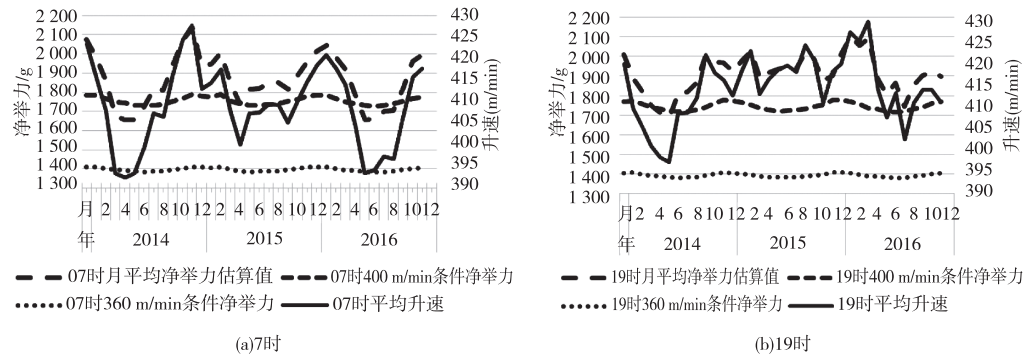


图3 贵阳站条件升速净举力估算图

Fig. 3 Estimated net lift force of condition lifting speed of Guiyang station

3.3.2 贵阳站平均升速下的净举力估算 图3中我们还给出了实际平均升速计算的理论净举力,07时、19时平均净举力分别在1 656~2 135 g、1 692~2 101 g,平均分别为1 865 g、1 910 g。07时、19时平均升速分别为 $408.9\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ 、 $413.8\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ 。即理论净举力平均为1 887.5 g条件下平均升速为 $411.4\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ 。实际上,贵阳站实际施放净举力通常在2 500 g左右,故实际增加的约600 g净举力使探测高度降低,升速并无提高太多。

3.3.3 不同净举力条件下平均升速随等压面高度变化 净举力越大,升速越大。取球和附加物重量为1 270 g时计算不同净举力下的升速变化。以统计时段(2014—2016年)不同等压面的温度、气压计算出各净举力分别为1 200 g、1 600 g、2 000 g、2 400 g、2 800 g和3 200 g到达10 hPa等压面的平均升速分别为 $328.5\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ 、 $358.5\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ 、 $383.7\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ 、 $404.5\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ 、 $422.1\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ 和 $437.4\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ 。若以此平均升速推算,则贵阳站统计时段内平均净举力为2 600 g左右。根据实际业务工作,我站的砝码通常在2 000~2 500 g之间,则实际净举力为2 480~2 980 g,与推算相符。从图4可以看出,150 hPa以下,平均升速增加随高度增加较为缓慢,在 $4.7\sim6.1(\text{m}\cdot\text{min}^{-1})\cdot\text{km}^{-1}$,平均为 $5.6(\text{m}\cdot\text{min}^{-1})\cdot\text{km}^{-1}$,150 hPa以上,平均升速增加的幅度较为明显,在 $11.8\sim14.4(\text{m}\cdot\text{min}^{-1})\cdot\text{km}^{-1}$,平均为 $13.2(\text{m}\cdot\text{min}^{-1})\cdot\text{km}^{-1}$,升速增幅是150 hPa两倍以上。若当净举力 $A>3\,000\text{ g}$,探空高度 $>15\text{ hPa}$,或当净举力 $A>2\,400\text{ g}$,探空高度 $>10\text{ hPa}$ 以上,升速将超过 $600\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ 。按照规范要求,此后的记录当作删除处理。故在晴天无雨或者上升

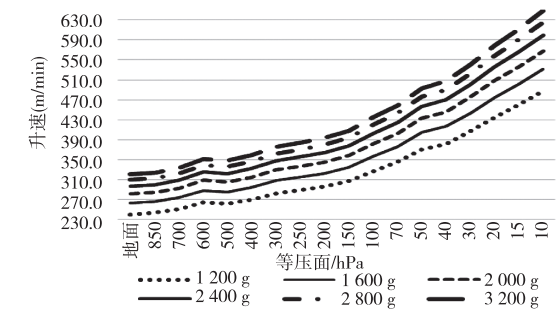


图4 不同净举力条件下平均升速随等压面高度变化曲线

Fig. 4 Change curve of average rising velocity with isobaric surface height under different net lifting forces

气流较强的天气条件下,净举力不宜超过2 400 g,控制在1 600~2 300 g之间为宜,平均升速可控制在 $360\sim400\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ 。这样,既可保证提高探空球炸高度,获取完整的观测记录,又能使探空仪感应元件在合适的通风条件下获取准确的探测记录,保证综合观测平均升速控制在 $400\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ 左右^[10]。

3.3.4 不同净举力条件下爆炸高度 从表2中可以看出,贵阳站目前净举力实际控制范围2 480~2 980 g下,无雨天气,气球为正品(球炸高度 $>26\,000\text{ m}$),施放平均高度虽超过28 600 m,但平均未达到30 000 m高度。净举力普遍较大,从统计数据来看,平均升速超过 $400\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$,实际净举力范围使得15 hPa以后等压面升速可能超速($>600\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$)从而删除记录降低探测高度。故本站气象条件下,净举力应当小于2 300 g。当净举力分别为1 600 g、2 000 g、2 300 g,地面气球充气直径分别为 $1.72\pm0.02\text{ m}$ 、 $1.8\pm0.02\text{ m}$ 、 $1.85\pm0.02\text{ m}$,探空

高度可在目前基础上提高约 3 100 m、1 600 m、800 m。理论升速大约分别可控制在 359 m · min⁻¹、384 m · min⁻¹、400 m · min⁻¹左右。相同净举力条件下,19 时探测高度较 07 时低,稳定性差,主要是

19 时空气受午后加热,空气稳定性较 07 时差,气流上升运动增强,对流乱流加强使得气球在翻滚中受力拉伸所致。

表 2 不同净举力条件下的爆炸高度推算表
Tab. 2 Calculation table of explosion height under different net lifting forces

	时次	1 600/g	2 000/g	2 300/g	2 480 ~ 2 980/g
地面充气直径/m	07	1. 72 ± 0. 02	1. 8 ± 0. 02	1. 85 ± 0. 02	1. 92 ± 0. 07
	19	1. 73 ± 0. 02	1. 81 ± 0. 02	1. 86 ± 0. 02	1. 93 ± 0. 07
高空爆炸高度/m	07	32 900 ± 300	31 600 ± 400	30 400 ± 800	29 700 ± 1 000
	19	32 300 ± 400	30 700 ± 900	30 200 ± 1 000	29 400 ± 1 000
高空爆炸气压/hPa	07	7. 6 ± 0. 4	9. 2 ± 0. 4	10. 3 ± 0. 5	12. 3 ± 2. 0
	19	8. 2 ± 0. 5	9. 8 ± 0. 5	11. 1 ± 0. 5	13. 2 ± 1. 5

4 小结

①研究表明,本站气球升速随着探测高度增加,至 10 hPa 附近,升速接近地面层附近两倍。故应当根据升速特点,合理使用净举力,避免升速超过规范要求从而降低探空高度。

②净举力偏大降低了探空高度,忽略了时次和季节天气变化对净举力的合理控制。无雨、阴天、多云,19 时可减少 300 g 左右,晴天可减 500 g;秋冬两季,净举力比春夏少 300 ~ 700 g。

③分析表明本站无雨天气净举力控制在 1 600 ~ 2 300 g 之间为宜,平均升速可控制在 360 ~ 400 m · min⁻¹。净举力分别为 1 600 g、2 000 g、2 300 g,探测高度可在目前基础上提高约 3 100 m、1 600 m、800 m。

④本文结论根据月平均资料得出,每个观测个例可在参考分析结论的基础上进行订正,不适用于暴雨等特殊天气。

参考文献

[1] 中国气象局. 高空气象观测业务质量考核办法 [M]. 北京:气象出版社,2010.

[2] 杨彬,王卫平,磨礼平. 气象气球爆破性能与升空性能的相关性研究[J]. 气象水文海洋仪器, 2010,27(3):46 - 50.

[3] 吴兴洋,杨金芝,张辉. 探空高度的稳定性分析[J]. 贵州气象, 2003,27(5):35 - 36.

[4] 罗雄光,吴华斌,殷宏南. 结合第 8 届国际探空仪系统比对试验探讨国产气球施放高度[J]. 气象科技,2012,40(4):520 - 524.

[5] 刘志欣,申延美,王蕊. 提高探空气球探测高度的方法[J]. 黑龙江气象,2004,21(2):38 - 39.

[6] 王雯燕,唐文哲. 高空气象探测施放高度的差异分析[J]. 陕西气象,2010(3):29 - 30.

[7] 周文兰. 提高探空施放高度的技巧[J]. 青海气象,2004,46(1):79 - 81.

[8] 梁建平,韦丽英,苏娟,等. 提高探空气球施放高度的再探讨[J]. 气象研究与应用,2010,31(1):80 - 82.

[9] 杨小民,彭勃,杨忠全,等. 浅谈净举力对探空气球升速及施放高度的影响[J]. 河南科技,2014(7):180 - 182.

[10] 中国气象局. 常规高空气象观测业务规范 [M]. 北京:气象出版社,2010.